

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**TRABAJO FIN DE MÁSTER EN MEJORA GENÉTICA VEGETAL**

# Evaluación de accesiones de tomate para eficiencia del uso del nitrógeno



**Martín Flores Saavedra**  
**Tutora: Maria de la O Plazas Ávila**  
**Segundo Tutor: Jaime Prohens Tomás**  
**Directora Experimental: Gloria Villanueva**

**VALENCIA-ESPAÑA**

**2021**

**Título:** Evaluación de accesiones de tomate para eficiencia del uso del nitrógeno.

**Resumen:** El uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura ha traído un importante aumento en la producción de alimentos a nivel mundial. Sin embargo, la aplicación excesiva, ha traído como consecuencia impactos negativos sobre el medio ambiente. La reducción de las aportaciones de nitrógeno y la mejora de la eficiencia de uso del nitrógeno es un objetivo fundamental de la agricultura sostenible, donde la identificación de material vegetal adaptado a condiciones limitadas de nitrógeno es un primer paso para desarrollar nuevas variedades con mayor eficiencia en el uso del nitrógeno. En este trabajo se realizó un cribado de 30 accesiones de tomate que se cultivaron en un sustrato con bajo contenido en nitrógeno (fibra de coco y perlita) y se regaron con dos soluciones con dosis de nitrógeno diferentes (0.5 mM N y 5 mM N). Para cada una de las accesiones y tratamientos se tomaron parámetros de crecimiento y biomasa, contenido en clorofilas y flavonoides, y la eficiencia del uso del nitrógeno. Los resultados obtenidos indican un aumento en el peso de las plantas, debido a un aumento en tallo, hoja y raíz, al aumentar la disponibilidad de nitrógeno. Los pigmentos de las plantas se vieron afectados por los tratamientos donde la clorofila disminuyó y los flavonoides aumentaron en condiciones de bajo nitrógeno. En relación a la eficiencia del uso del nitrógeno, este aumentó significativamente ante la disminución de la disponibilidad de nitrógeno, debido a un aumento de la eficiencia de utilización del nitrógeno. Se identificaron accesiones adaptadas tanto para condiciones de alto nitrógeno como para bajo nitrógeno.

**Palabras clave:** tomate (*Solanum lycopersicum*), recursos fitogenéticos, nitrógeno, eficiencia del uso del nitrógeno.

**Title:** Evaluation of tomato accessions for nitrogen use efficiency.

**Abstract:** The use of nitrogen fertilizers in agriculture has brought a significant increase in food production worldwide. However, excessive application has resulted in negative impacts on the environment. Reducing nitrogen inputs and improving the efficiency of nitrogen use is a fundamental objective of sustainable agriculture, where the identification of plant material adapted to limited nitrogen conditions is a first step to develop new varieties with greater efficiency in the use of nitrogen. In this work, a screening of 30 tomato accessions was carried out that were grown in a substrate with low nitrogen content (coconut fiber and perlite) and watered with two solutions with different nitrogen doses (0.5 mM N and 5 mM N). For each of the accessions and treatments, growth and biomass parameters, chlorophyll and flavonoid content, and the efficiency of nitrogen use were taken. The results obtained indicate an increase in the weight of the plants, due to an increase in stem, leaf and root, as the availability of nitrogen increases. Plant pigments were affected by treatments where chlorophyll decreased and flavonoids increased under low nitrogen conditions. In relation to the efficiency of the use of nitrogen, this increased significantly due to the decrease in nitrogen availability, due to an increase in the efficiency of nitrogen use. Accessions adapted for high and low nitrogen conditions were identified.

**Keywords:** tomato (*Solanum lycopersicum*), plant genetic resources, nitrogen, nitrogen use efficiency.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
Especies de interés: tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) .....	1
Importancia económica del tomate ( <i>S. lycopersicum</i> L.).....	1
Recursos fitogenéticos.....	2
Producción agrícola y uso de fertilizantes .....	4
Efecto del nitrógeno en el medioambiente .....	4
Eficiencia del uso del nitrógeno .....	5
2. OBJETIVOS.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
Material vegetal .....	8
Condiciones de cultivo y tratamientos.....	8
Biomasa .....	8
Índice de balance del nitrógeno, clorofila, flavonoides y antocianos.....	8
Contenido de nitrógeno, carbono y eficiencia de absorción del nitrógeno.....	10
Análisis estadístico .....	11
4. RESULTADOS .....	13
Análisis de la varianza.....	13
Crecimiento y biomasa .....	13
Clorofila, flavonoides, antocianos e índice de balance del nitrógeno .....	16
Contenido de nitrógeno y carbono.....	19
Eficiencia de absorción, utilización y uso del nitrógeno .....	19
Análisis de componentes principales y correlaciones .....	25
5. DISCUSIÓN.....	28
6. CONCLUSIONES .....	31
7. REFERENCIAS .....	32

## 1. INTRODUCCIÓN

### Especies de interés: tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

El tomate pertenece a la familia Solanaceae y al género *Solanum*, este género presenta un número considerable de especies cultivadas, incluyendo especies de gran importancia a nivel mundial como la patata (*S. tuberosum*), el tomate (*S. lycopersicum*) y la berenjena (*S. melongena*) (Samuels, 2015). Dentro de las especies conocidas como tomate se encuentran 12 especies silvestres *Solanum arcanum*, *S. cheesmaniae*, *S. chilense*, *S. chmielewskii*, *S. corneliomulleri*, *S. galapagense*, *S. habrochaites*, *S. huaylasense*, *S. neorickii*, *S. pennellii*, *S. peruvianum* y *S. pimpinellifolium*, de los cuales, este último se reconoce como el principal progenitor del tomate cultivado, *S. lycopersicum* (Knapp y Peralta, 2016).

El tomate cultivado se originó en América Central y América del Sur. El proceso de domesticación ocurrió probablemente en dos pasos, en primer lugar, en Ecuador y norte del Perú que da origen al tomate con frutos pequeños y redondos, desde donde posteriormente migró a Mesoamérica, lo que condujo a la generación del tomate cultivado con frutos grandes (Sun et al., 2017). La planta de tomate presenta una altura de 1 a 3 metros, tallo débil y hábito perenne. La mayoría de los genotipos tienen frutos tipo baya color rojo; sin embargo, se dispone de gran variedad de colores como verdes o amarillos (Singh et al., 2016). El tomate y sus parientes cercanos se distinguen de otras especies de *Solanum* por sus flores de color amarillo y sus hojas pinnadas o pinnatífidas, no espinosas (Knapp y Peralta, 2016).

### Importancia económica del tomate (*S. lycopersicum* L.)

Las hortalizas de mayor importancia económica a nivel mundial son los tomates, las cucurbitáceas (calabazas, calabacines, pepinos y pepinillos), los alliums (cebollas, chalotes, ajos) y pimientos, de los cuales, el tomate es el cuarto cultivo de mayor valor económico. Se produce, sobre todo, en los países de bajos y medianos ingresos, después del arroz, caña de azúcar y el trigo, representando 63.000 millones de dólares por año (Schreinemachers et al., 2018). La producción mundial de tomates, según datos del año 2019, fue de más de 180 millones de toneladas, con una superficie total de 5 millones de hectáreas (Figura 1), siendo Asia el continente con mayor producción, teniendo un 62% del total, donde destacan China e India con una producción de 62,8 y 19,0 millones de toneladas, respectivamente (Figura 2) (FAOSTAT, 2021).

España es uno de los principales productores de tomate y el mayor exportador de Europa después de Holanda, detectándose que los niveles de exportación van en aumento debido a la disminución de la exportación por países competentes como Marruecos (Capobianco-Uriarte et al., 2021). La provincia de Almería es la mayor productora de tomate en España, sin embargo, durante los últimos años ha disminuido la superficie cultivada debido a una disminución del precio. La producción tiene como destino la Unión Europea, es el segundo cultivo de mayor importancia económica, con 497.883 mil euros/año, a pesar de una disminución de las exportaciones en las últimas temporadas (Cajamar, 2021).

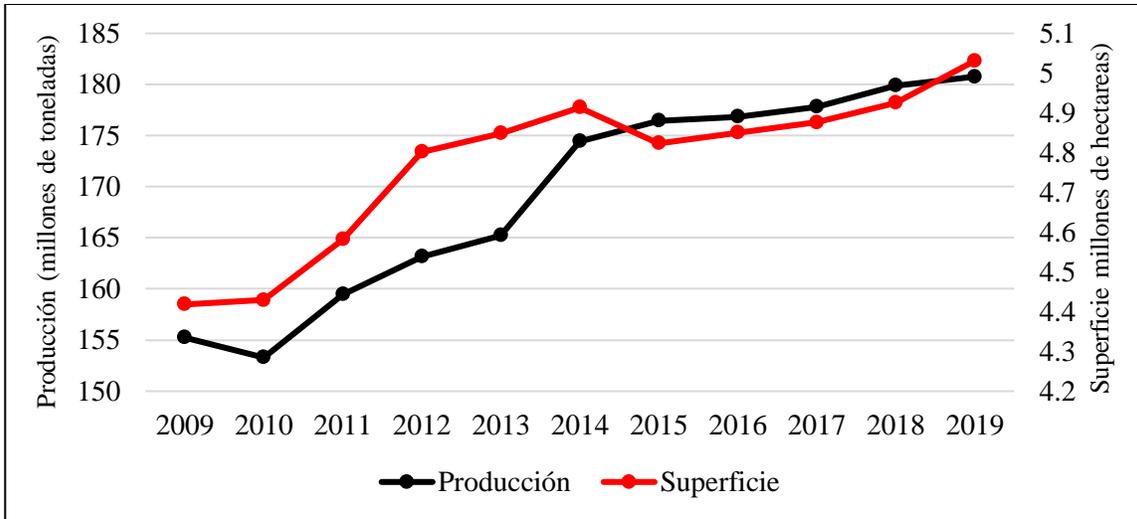


Figura 1. Producción y superficie mundial de tomate fresco entre los años 2009 y 2019 (FAOSTAT, 2021)

Recursos fitogenéticos

Los recursos fitogenéticos disponibles, como son las variedades tradicionales y parentales silvestres, se han utilizado ampliamente en la generación de nuevas variedades vegetales. El tomate ha sufrido, como especie, una gran disminución de la diversidad genética y un cuello de botella en la domesticación, es por esto que las especies de tomate silvestre resultan un importante recurso, ya que albergan genes valiosos que se han perdido en las variedades actuales (Kulus, 2018). El cruce interespecífico entre especies silvestres y especies cultivadas permite recuperar alelos importantes, introduciendo nuevos caracteres a las poblaciones, a través del fitomejoramiento y el uso de marcadores moleculares, especialmente para mejoras frente a estrés abiótico (Bauchet y Causse, 2012).

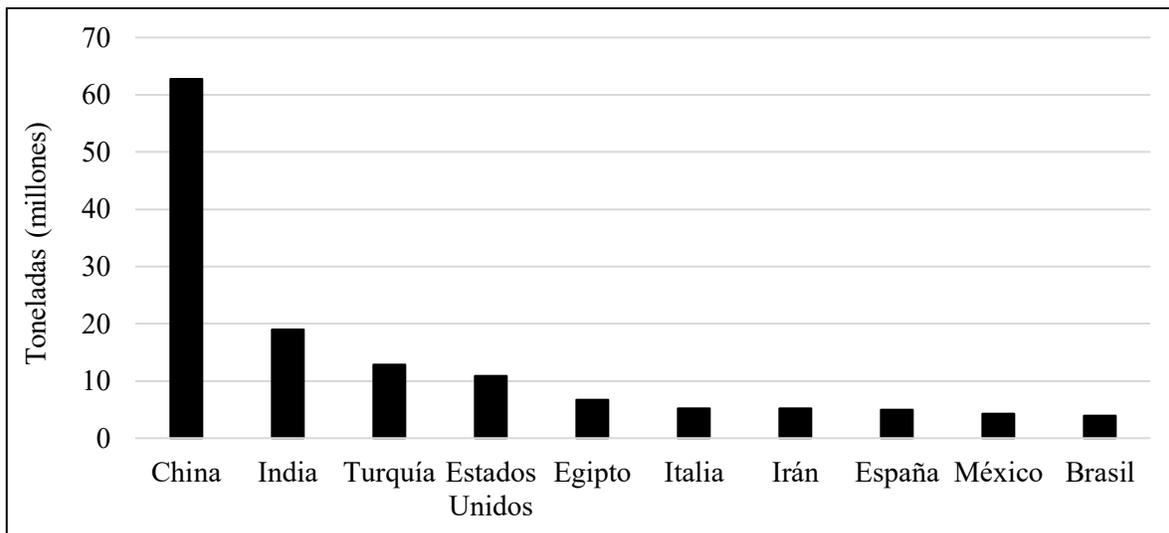


Figura 2. Producción total de tomate en 2019 para los principales productores (FAOSTAT, 2021)

Las variedades tradicionales, cultivadas de forma local por los agricultores, han permitido mejoras en resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a estreses abióticos y ciclos más cortos de cultivo (Galluzzi et al., 2020). A modo de ejemplo, en tomate, variedades tradicionales, permiten la mejora genética para la calidad del fruto y la tolerancia a condiciones de salinidad (Meza et al., 2020). La variedad tradicional de tomate “De colgar” también conocida como tomate “De penjar” se caracteriza por sus frutos de tamaño pequeño, redondo u oblongo con dos o tres lóculos y pericarpio grueso (Figura 3) (Cortés-Olmos et al., 2015). Esta variedad destaca por su maduración retrasada y larga vida útil debido a la mutación alcobaça (alc) (Casals et al., 2011). Recientes estudios demuestran el potencial del tomate “De colgar” para su uso en programas de mejora para desarrollar variedades tolerantes a condiciones ambientales restrictivas (Rosa-Martínez et al., 2021).



Figura 3. Frutos de tomate “De colgar” (Casals et al., 2011)

En relación a la conservación de los recursos fitogenéticos, existe una conservación *in situ* de las variedades tradicionales por parte de los agricultores y las especies silvestres se encuentran en abundancia en zonas de los Andes hasta Mesoamérica. Por otro lado, los tomates están bien representados en conservación *ex situ* en diversas accesiones dentro de bancos de semillas, laboratorios *in vitro* y criobancos, con fines de investigación y comercial (Kulus, 2018).

Las poblaciones de introgresión permiten estudiar la base genética de la expresión génica. Además, con estas poblaciones se han estudiado, en tomates silvestres, genes que se han perdido durante la domesticación, identificando loci asociados a la maduración, involucrados en la defensa de patógenos y resistencia de hongos (Szymański et al., 2020). En las últimas décadas se han utilizado poblaciones multiparentales para el estudio genético como son las poblaciones desarrolladas mediante “entrecruzamientos de generación avanzada de múltiples padres” (MAGIC), que permiten la identificación de QTLs y nuevos genes (Huang et al., 2015). En tomate se han utilizado poblaciones MAGIC para el estudio genético, encontrando QTLs asociados al peso del fruto (Pascual et al., 2014), también se ha utilizado la variabilidad de estas poblaciones para la selección de familias adaptadas tanto al manejo de bajos insumos como a diferentes ambientes (Campanelli et al., 2019).

El fenotipado es un proceso fundamental en la explotación de los recursos fitogenéticos y para la selección de parentales para desarrollar nuevas variedades. Los objetivos de mejora determinan el ambiente y los rasgos evaluados en los recursos fitogenéticos, dependiendo del costo y el beneficio. La necesidad de cultivar en ambientes adversos hace fundamental la evaluación de genotipos adaptados a condiciones de sequía y altas temperaturas (Reynolds et al., 2020).

### Producción agrícola y uso de fertilizantes

En los últimos años, el cambio climático se ha ido acelerando debido principalmente a la actividad humana, lo que ha traído como consecuencia impactos negativos en la biodiversidad, rompiendo el equilibrio ecológico a causa de migraciones de especies y cambios en el comportamiento fenológico (Prakash y Srivastava, 2019). En relación a la agricultura, el aumento de temperaturas trae como consecuencia una disminución del ciclo de los cultivos y por ello un menor rendimiento, además, en muchas áreas geográficas se limita cada vez más la disponibilidad de agua para riego. Estos cambios climáticos amenazan la seguridad alimentaria, por lo que la investigación agrícola debe enfocarse en generar sistemas agrícolas resilientes a condiciones adversas (Swaminathan y Kesavan, 2012).

Ante un inminente crecimiento de la población mundial en los próximos años, se hace necesario aumentar aún más el rendimiento de los cultivos para así asegurar el alimento, en este sentido, el uso de fertilizantes inorgánicos desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria (Stewart y Roberts, 2012). En los últimos años se han generado nuevas variedades híbridas de cultivo que han generado un incremento considerable en el rendimiento, pero que requieren para su producción un aumento en las tasas de fertilización nitrogenada (Ranjan y Yadav, 2019).

El uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura ha traído un importante aumento en la producción de alimentos a nivel mundial (Sainju et al., 2020). La aplicación de nitrógeno (N) tiene un efecto positivo en los cultivos en cuanto al rendimiento, tasa fotosintética y rendimientos económicos (Khalofah et al., 2021). Además, las altas dosis de nitrógeno tienden a favorecer el metabolismo primario de las plantas, sintetizando un mayor contenido de clorofilas y menos flavonoides, por el contrario, cuando las dosis de nitrógeno son menores, dirigen su metabolismo a la producción de flavonoides (Figura 4). El seguimiento de estos compuestos durante el cultivo permite conocer si las plantas tienen una buena nutrición para así obtener un mayor rendimiento (Zhang et al., 2019).

### Efecto del nitrógeno en el medioambiente

La aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados, la cual se ha visto en aumento en las últimas décadas, ha traído como consecuencia impactos negativos sobre el medio ambiente, generando acidificación del suelo, lixiviación de N al agua subterránea y emisiones de gases de efecto invernadero (Sainju et al., 2020). En relación a la acidificación de los suelos, la aplicación de N ha reducido el pH a nivel mundial en 0,26 unidades, siendo los suelos más sensibles a la acidificación cuando se utilizan fertilizantes a base de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) y urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) que si se usa amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Tian y Niu, 2015). De esta manera, la acidificación se transforma en un factor limitante para el rendimiento de los cultivos (Schroder et al., 2011) y genera alteraciones en los ecosistemas reduciendo la biomasa vegetal, bacteriana y aumentando la biomasa fúngica (Meng et al., 2019).

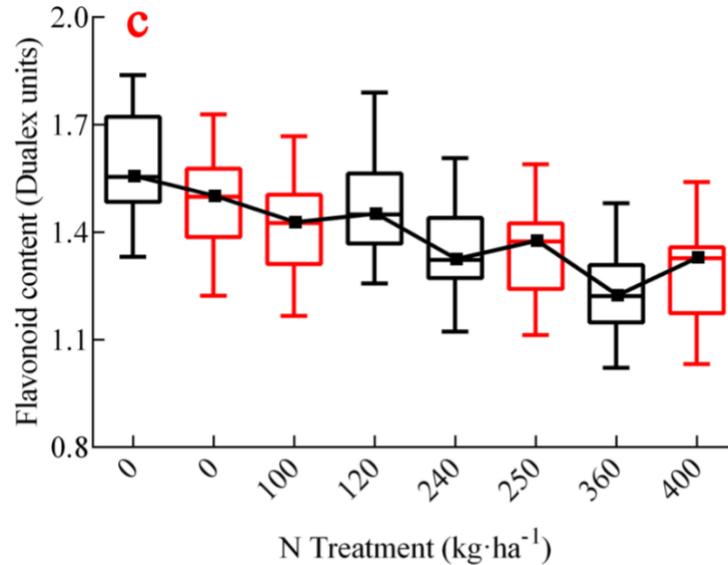


Figura 4. Efecto de la dosis de fertilizante nitrogenado sobre el contenido de flavonoides en hojas de arroz (Zhang et al., 2019).

Uno de los impactos más negativos por el uso de fertilizantes nitrogenados es la lixiviación. Las principales formas de N disponible para las plantas son amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), de las cuales, esta última, es altamente propensa a la lixiviación, resultando así una baja eficiencia del fertilizante y generando una contaminación de las aguas subterráneas que trae como consecuencia impactos negativos en la ecología y la salud humana (Bibi et al., 2016). Otro efecto de la fertilización nitrogenada son las emisiones de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) al ambiente, que ocurren inmediatamente después de la aplicación del fertilizante y sus niveles dependen en gran medida de la profundidad del suelo en la que fue aplicado (Sosulski et al., 2020). El  $\text{N}_2\text{O}$  es el tercer gas de efecto invernadero más importante, es dañino para la capa de ozono y tiene un alto potencial de calentamiento global (Ming et al., 2016).

### Eficiencia del uso del nitrógeno

El aumento mundial de aplicación de N a las tierras de cultivo ha sido y seguirá siendo un factor importante en la producción de alimentos. Si la proporción de aportes de N capturados por la planta aumenta, contribuye a una reducción del impacto medioambiental y un aumento en la producción, por lo que se hace fundamental aumentar la eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) en los cultivos para satisfacer la demanda de alimentos en el futuro (Conant et al., 2013) reduciendo los contaminantes.

La NUE se calcula como el rendimiento obtenido, dividido del N total aplicado. Éste se puede separar en eficiencia de absorción de N (NUpE), que representa la cantidad de N que puede tomar la planta de la fuente de N, y la eficiencia de utilización de N (NUtE), que refiere a la capacidad que tiene la planta para asimilar y movilizarlo dentro de ella. De esta manera, la NUE se considera como el resultado del producto NUpE y NUtE (Anas et al., 2020). El aumento de la NUE se puede realizar

mediante manejo agronómico o mediante la mejora genética a través de la mejora del NUpE, NUtE o ambos (Ranjan y Yadav, 2019). La mejora de la NUE se ve afectada por muchos mecanismos fisiológicos y agronómicos, caracteres como una fotosíntesis prolongada en las hojas que permite mantener un suministro continuo de N a las hojas jóvenes, la disponibilidad prolongada de N por órganos sumideros para su removilización a los frutos o una alta biomasa de las raíces, permiten un aumento de la NUE, en relación a esto, existe suficiente variación genética disponible en cultivares modernos, que permiten generar nuevas variedades aún más eficientes (Lammerts van Bueren y Struik, 2017).

Respecto a la NUE en tomate, los genotipos con mayor eficiencia presentan una mayor longitud y grosor de raíz, además presentaron una mayor expresión de genes transportadores de NO<sub>3</sub> lo que se relaciona específicamente con una mayor NUtE (Abenavoli et al., 2016). De esta forma, genotipos de alta NUE, muestran una mayor expresión de transportadores de nitrógeno SINRT1.5 en la raíz y con SINR y SINRT2.7 en el brote (Aci et al., 2021). En un estudio comparativo de alto y bajo N en la variedad de tomate tradicional “De colgar”, se encontró una tendencia a mantener el rendimiento, manteniendo también el contenido de clorofila en las hojas y sus características de calidad, indicando que estos materiales podrían ser una fuente genética importante para desarrollar variedades de alta NUE a través de la utilización de variedades tradicionales (Rosa-Martínez et al., 2021). La expresión de las fitohormonas en los distintos genotipos también cumple un rol importante en la NUE. Así se ha visto que las auxinas son las hormonas más importantes en la respuesta de las plantas a las condiciones de bajo nitrógeno, de forma que mutantes de tomate con baja sensibilidad a las auxinas, mejoran su estructura radicular que permite aumentar la NUE significativamente en comparación a plantas no mutantes, bajo condiciones de bajo aporte de nitrógeno (Santos et al., 2020).

Por otro lado, se puede lograr un aumento en la NUE para el cultivo de tomate mediante prácticas agronómicas, como la aplicación de fertilizantes orgánicos como estiércol, que mejoran significativamente la NUE en relación al uso de fertilizantes sintéticos, debido a la liberación lenta del N (Nguefack et al., 2020). La aplicación de riego aireado también permite el aumento de la NUE debido a su mejora en la absorción del N por las plantas de tomate, de forma que este método, en relación al riego convencional, permite reducciones de un 25% en las tasas de N (Du et al., 2020).

## 2. OBJETIVOS

### Objetivo general

- Identificar accesiones de tomate que posean una alta eficiencia del uso del nitrógeno bajo condiciones de fertilización con alto y bajo nitrógeno.

### Objetivos específicos

- Evaluar los efectos del aporte de nitrógeno en la producción de biomasa de tallo, hoja y raíces para cada una de las accesiones.
- Determinar el efecto del aporte de nitrógeno en las clorofilas, flavonoides e índice de balance de nitrógeno en las distintas accesiones.
- Evaluar el contenido de nitrógeno y carbono en tallo, hoja y raíz para cada una de las accesiones.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Material vegetal

El material vegetal utilizado consiste en 18 accesiones diferentes del banco de germoplasma del Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana (COMAV), correspondientes a la colección “De colgar”, 8 accesiones suministradas por el Institut National de la Recherche Agronomique de Francia que corresponden a los parentales de una población MAGIC (Multi-parent Advanced Generation InterCross) (Causse et al., 2016) y 4 accesiones más de la Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria de Italia (Tabla 1), de las cuales Regina Ostuni y UC 82 se habían considerado como genotipos de alto y bajo NUE respectivamente (Abenavoli et al., 2016).

#### Condiciones de cultivo y tratamientos

Se evaluaron los 30 genotipos de tomate en dos ensayos, con dos soluciones distintas con dosis de alto y bajo N (0,5 mM N y 5 mM N) (Figura 5). Para el ensayo de alto N (AN) se germinaron las semillas en placas petri durante siete días, una vez germinadas, estas fueron transplantadas a maceta. Para el ensayo de bajo N (BN) se germinaron las semillas en placas petri, pero a diferencia del tratamiento de alto N, estas se trasladaron a alveolos para asegurar su desarrollo inicial hasta conseguir las primeras hojas no cotiledonares maduras y luego se trasladaron a la maceta final.

El diseño experimental utilizado para los ensayos fue completamente al azar en el que cada accesión contempló 5 repeticiones lo que significó un total de 150 unidades experimentales para cada ensayo (AN y BN). Los ensayos se llevaron a cabo en los invernaderos de la Universitat Politècnica de València (UPV-COMAV) (39°29'00.4 "N 0°20'27.1 "W). El sustrato utilizado fue fibra de coco y perlita en proporción 3:1 y las macetas utilizadas tenían una capacidad de 770 ml.

La solución nutritiva fue aplicada en dosis de 150 ml dos o tres veces por semana, dependiendo de las condiciones climáticas de evapotranspiración. Las soluciones aplicadas se realizaron en función de ensayos previos realizados en la Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria (Tabla 2), y el pH fue ajustado a 5,8 con ácido clorhídrico (HCl) diluido al 23%.

#### Biomasa

Las plantas fueron cosechadas en estado de botón floral a los 40 y 65 días después del trasplante para AN y BN respectivamente. Una vez cosechadas se pesó la biomasa fresca total y de tallo, hoja y raíz, posteriormente las plantas fueron secadas en una estufa a 65 °C para obtener la biomasa seca total y de cada órgano vegetal (hoja, tallo y raíz).

#### Índice de balance del nitrógeno, clorofila, flavonoides y antocianos

Para medir de forma no destructiva el contenido de clorofila, flavonoides, antocianos y el índice de balance de nitrógeno (NBI), se utilizó el sensor óptico Dualex Scientific® (Force-A, Orsay, France),

que se basa en los espectros de excitación de fluorescencia de los pigmentos (Cerovic et al., 2005). Los datos fueron medidos por el lado adaxial y abaxial de 3 hojas de la parte superior dentro de cada unidad experimental.

Tabla 1. Accesiones utilizadas con origen y especie.

Accesión	Institución	Especie	Origen
TRBA0420	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRBA0720	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRBA1580	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRBA1830	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRCA0390	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRCA0570	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRCA1280	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRPO0010	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
TRPO0040	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
TRVA0030	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRVA1480	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRVA1730	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRVA2240	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	España
TRVI0040	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
TRVI0130	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
TRVI0460	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
TRVI1060	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
TRVI1870	Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
Ferum	Institut National de la Recherche Agronomique	<i>S. lycopersicum</i>	Francia
Cervil	Institut National de la Recherche Agronomique	<i>S. l. var cerasiforme</i>	Francia
Levovil	Institut National de la Recherche Agronomique	<i>S. lycopersicum</i>	Francia
Plovdiv XXIVa (Plovdiv)	Institut National de la Recherche Agronomique	<i>S. l. var cerasiforme</i>	Francia
LA1420	Institut National de la Recherche Agronomique	<i>S. l. var cerasiforme</i>	Francia
LA0147	Institut National de la Recherche Agronomique	<i>S. lycopersicum</i>	Francia
Criollo	Institut National de la Recherche Agronomique	<i>S. l. var cerasiforme</i>	Francia
Stupicke Polni Rane (SPR)	Institut National de la Recherche Agronomique	<i>S. lycopersicum</i>	Francia
Regina Ostuni	Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
Linosa	Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria	<i>S. lycopersicum</i>	Italia
UC 82	Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria	<i>S. lycopersicum</i>	EE.UU.
Piriddu	Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria	<i>S. lycopersicum</i>	Italia

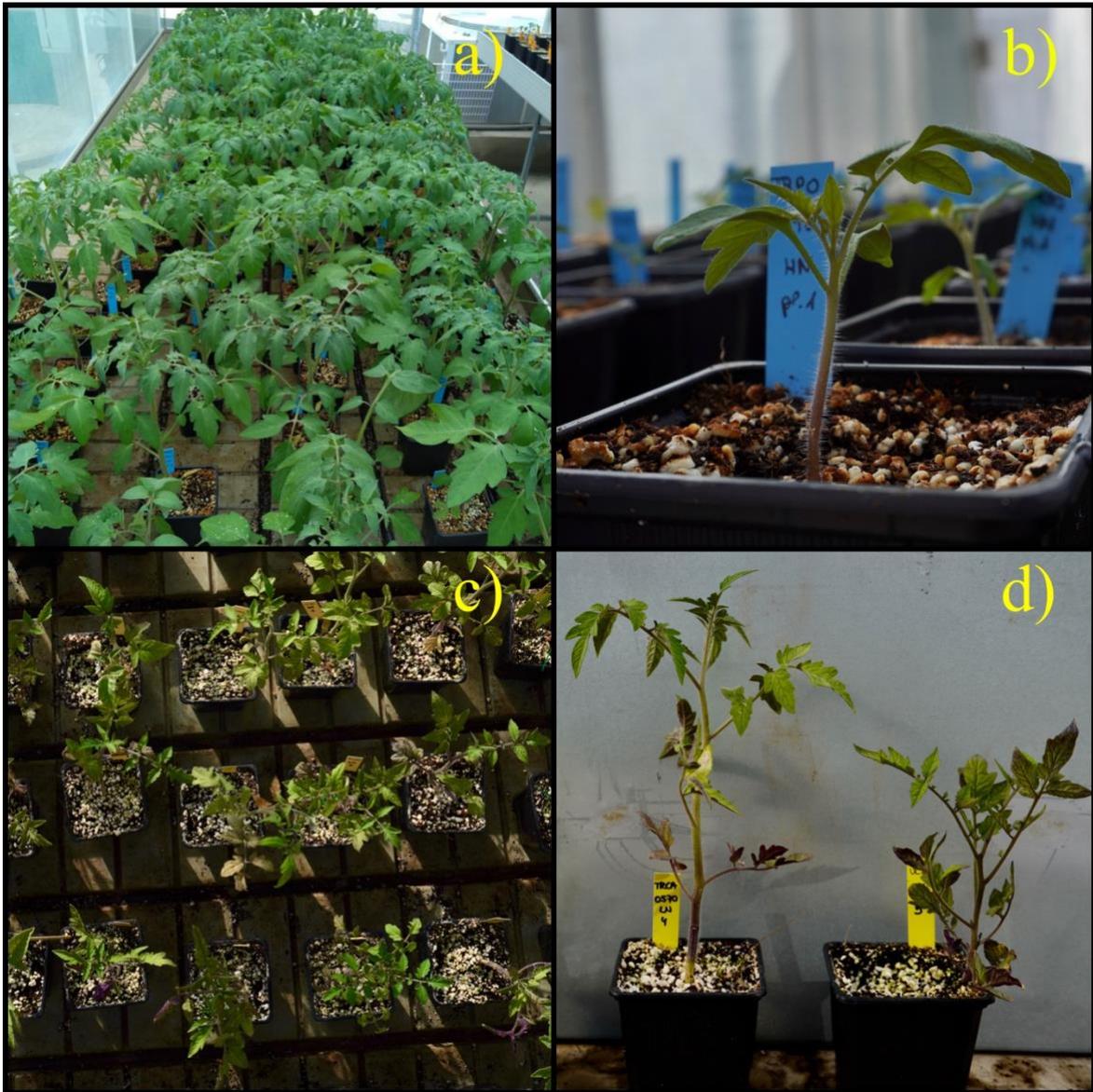


Figura 5. Plantas cultivadas en condiciones de alto nitrógeno (a y b) y en condiciones de bajo nitrógeno (c y d).

#### Contenido de nitrógeno, carbono y eficiencia de absorción del nitrógeno

El contenido de nitrógeno (N) y carbono (C) se determinó con el polvo liofilizado de cada órgano, que se trituro con un mortero, por separado, la hoja, tallo y raíz de cada planta. El contenido de N se realizó mediante el método Dumas, basado en combustión de la muestra 950 °C en presencia de oxígeno utilizando un analizador TruSpec CN (Leco, MI, USA). El contenido de C se calculó a partir de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), utilizando un detector de infrarrojos. Para la cuantificación se utilizaron estándares de referencia certificados de diferentes concentraciones de N y C (Galluza et al., 2012).

Tabla 2. Concentraciones de macronutrientes y micronutrientes para las soluciones de alto y bajo

	Alto nitrógeno (AN)	Bajo nitrógeno (BN)
Macronutrientes		
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.5 mM	2.5 mM
MgSO <sub>4</sub>	2 mM	2 mM
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1 mM	1 mM
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5 mM	0.5 mM
CaSO <sub>4</sub>	0	4.75 mM
Micronutrientes		
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	46 mM	46 mM
MnCl <sub>2</sub>	9 mM	9 mM
ZnSO <sub>4</sub>	0.76 mM	0.76 mM
CuSO <sub>4</sub>	0.32 mM	0.32 mM
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	0.11 mM	0.11 mM
Fe-EDTA	20 mM	20 mM

nitrógeno.

Como el fin del experimento no es obtener fruto, se calculó la NUE en base a la biomasa seca total producida. La NUpE se calculó a través de la división del contenido de N en la planta dividido por el total de N suministrado a lo largo del ensayo (1), la NUtE se calculó mediante la división del peso seco total por el contenido de N en la planta (2) y la NUE se obtuvo de la multiplicación del NUpE con el NUtE (3) (Anas et al., 2020).

$$NUpE = \text{Contenido de N en la planta} / N \text{ suministrado} \quad (1)$$

$$NUtE = \text{Peso seco total} / \text{Contenido de N en la planta} \quad (2)$$

$$NUE = NUpE \times NUtE \quad (3)$$

### Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) y las medias de los tratamientos se compararon a través de una prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ). Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2017). Con las variables obtenidas, se realizó una prueba de correlaciones con los coeficientes de correlación de Pearson para así determinar el grado de relación entre las variables y un análisis de componentes principales para analizar la relación entre los distintos caracteres medidos y las accesiones. Mediante el programa estadístico R-Studio (RStudio Team, 2020), se calcularon las correlaciones de Pearson de los caracteres, para cada tratamiento, evaluándose la significación estadística utilizando la corrección de Bonferroni a un nivel de probabilidad de 0,05, utilizando los paquetes *psych* y *corrplot* de R. Las gráficas de análisis de componentes principales y correlaciones se realizaron utilizando el paquete *ggplot2* de R.

Tabla 3. Caracteres medidos con su abreviatura y unidad correspondiente.

Carácter	Abreviatura	Unidad
Nº hojas	Nºh	-
Longitud parte aérea	LongPA	cm
Peso fresco total	PFtot	g
Peso fresco tallo	PFt	g
Peso fresco hoja	PFh	g
Peso fresco raíz	PFr	g
Peso seco total	PStot	g
Peso seco tallo	PSt	g
Peso seco hoja	PSh	g
Peso seco raíz	PSr	g
Clorofila	Chl	$\mu\text{g cm}^{-2}$
Flavonoides	Flav	$\mu\text{g cm}^{-2}$
Antocianos	Anth	$\mu\text{g cm}^{-2}$
Índice de balance de nitrógeno	NBI	-
Contenido de nitrógeno en tallo	Nt	%
Contenido de nitrógeno en hoja	Nh	%
Contenido de nitrógeno en raíz	Nr	%
Contenido de carbono en tallo	Ct	%
Contenido de carbono en hoja	Ch	%
Contenido de carbono en raíz	Cr	%
Eficiencia de absorción de nitrógeno	NU <sub>p</sub> E	-
Eficiencia de utilización de nitrógeno	NU <sub>t</sub> E	-
Eficiencia del uso del nitrógeno	NUE	-

## 4. RESULTADOS

### Análisis de la varianza

Los caracteres evaluados en plantas de tomate, en el ensayo de alto y bajo nitrógeno, presentaron en su totalidad diferencias estadísticamente significativas para tratamiento, accesión, y la interacción accesión-tratamiento. Las diferencias encontradas son significativas a un p-valor menor a 0,001 a excepción de la interacción accesión-tratamiento, en la clorofila, que presentó significancia a un p-valor menor a 0,01 (Tabla 4).

La fuente de variación que mayor contribución representó, de la varianza total, fue el tratamiento, para las variables PF<sub>tot</sub>, PF<sub>t</sub>, PF<sub>h</sub>, PSt<sub>tot</sub>, PSh, PSr, Flav, Anth, NBI, Nt, Nh, Nr, Ch, NU<sub>p</sub>E, NU<sub>t</sub>E y NUE. En el caso de las variables N<sup>o</sup>h, LonPA, PFr, PSt, Chl y Cr, la fuente de variación que mayor contribuye a la varianza total fue la variable accesión. La fuente de variación de interacción accesión-tratamiento fue la que menos contribución representó, de la varianza total, en la mayoría de los casos, solo fue la de mayor variación en el caso del Ct (Tabla 4).

### Crecimiento y biomasa

El N<sup>o</sup>h promedio, en condiciones de AN, fue de 6,59, este aumentó en condiciones de bajo nitrógeno, llegando a 6,92. La accesión que alcanzó un mayor promedio en condiciones de AN fue LA1420, mientras que en BN, fue la SPR, ambas con un promedio de 8,40. La accesión TRVI 0460 fue la única que presentó una diferencia estadísticamente significativa, al ser cultivada en AN y BN, aumentado el promedio del N<sup>o</sup>h en 2,4 en BN (Tabla 5). En relación a la LongPA, las plantas de AN presentaron un mayor crecimiento, superando en 1,7 cm a las plantas de BN, sin embargo, la accesión que presentó una longitud mayor fue TRPO 0040 con 33,7 cm en condiciones de BN y la de menor longitud fue Piriddu con 12,3 cm en condiciones de AN. Las accesiones no presentaron diferencias significativas al ser cultivadas bajo condiciones de AN y BN, a excepción de Levovil, que disminuyó en 10 cm su longitud en BN (Tabla 5).

El PF<sub>tot</sub> disminuyó significativamente bajo condiciones de BN, pasando de 22,9 a 12,8 g para AN y BN, respectivamente. La accesión TRVI 2240 fue la de mayor promedio con 31,4 g en AN, mientras Levovil fue la de menor promedio con 9,2 g en BN a pesar de no ser estadísticamente diferente a ninguna otra accesión en BN (Tabla 5). De las 30 accesiones evaluadas, 18 mantuvieron su PF<sub>tot</sub> estadísticamente igual antes una disminución de nitrógeno, las otras 12 accesiones disminuyeron su peso en hasta un 64%. En relación al peso fresco de cada órgano de las plantas (tallo, hoja y raíz), tanto el tallo como las hojas disminuyeron su peso al tener menos disponibilidad de N, mientras la raíz aumentó. De las 30 accesiones 16 mantuvieron el PF<sub>t</sub> y 13 mantuvieron el PF<sub>h</sub>, sin diferencias significativas; en tanto el PFr solo presentó diferencias significativas ante una disminución del nitrógeno, la accesión Criollo, disminuyendo 4,4 g (Tabla 5).

Tabla 4. Análisis de varianza que contiene los grados de libertad (gl) y suma de cuadrados para los caracteres medidos durante el ensayo de 30 genotipos de tomate, evaluados bajo condiciones de alto (AN) y bajo nitrógeno (BN). Número de hojas (N<sup>oh</sup>); longitud de la parte aérea (LongPA); peso fresco total (PFtot); peso fresco tallo (PFt); peso fresco hoja (PFh); peso fresco raíz (PFR); peso seco total (PStot); peso fresco tallo (PSt); peso fresco hoja (PSh); peso fresco raíz (PSr); clorofila (Chl); flavonoides (Flav); antocianos (Anth); índice de balance de nitrógeno (NBI); contenido de nitrógeno en tallo (Nt); contenido de nitrógeno hoja (Nh); contenido de nitrógeno raíz (Nr); contenido de carbono tallo (Ct); contenido de carbono hoja (Ch); contenido de carbono raíz (Cr) eficiencia de absorción de nitrógeno (NUpE); eficiencia de utilización de nitrógeno (NUtE); eficiencia del uso del nitrógeno (NUE).

Fuente de variación	gl	% Suma de Cuadrados									
		Nh	LongPA	PFtot	PFt	PFh	PFR	PStot	PSt	PSh	PSr
Tratamiento	1	2,3***	2,4***	39,7***	44,8***	59,1***	7,2***	41,4***	17,7***	35,4***	52,2***
Accesion	29	36,9***	45,1***	17,9***	16,7***	10,8***	36,1***	13,4***	20,8***	16,3***	12,7***
Interacción	29	16,1***	15,3***	14,0***	12,5***	9,5***	14,2***	14,2***	16,3***	15,5***	10,4***
Error	223	44,7	37,0	25,3	22,2	17,3	41,6	27,4	42,8	29,5	21,4
		Chl	Flav	Anth	NBI	Nt	Nh	Nr	Ct	Ch	Cr
Tratamiento	1	6,8***	81,2***	61,0***	78,7***	60,1***	87,6***	68,0***	5,4***	48,1***	60,9***
Accesion	29	25,0***	4,8***	9,3***	4,5***	9,2***	3,2***	5,3***	17,6***	13,7***	14,9***
Interacción	29	14,9**	4,0***	8,9***	4,8***	10,0***	2,7***	7,9***	22,8***	8,5***	14,4***
Error	223	53,2	7,5	17,3	9,4	20,8	5,2	17,9	53,0	25,1	12,6
		NUpE	NUtE	NUE							
Tratamiento	1	46,6***	87,5***	38,5***							
Accesion	29	11,7***	2,1***	11,5***							
Interacción	29	10,9***	2,7***	12,8***							
Error	223	27,4	5,8	37,4							

Análisis de varianza para todos los caracteres medidos. (\* p < 0,05; \*\* p < 0,01; \*\*\* p < 0,001).

Tabla 5. Número de hojas, longitud y peso fresco total, de hoja, tallo y raíz de las 30 accesión de tomate bajo condiciones de alto (AN) y bajo nitrógeno (BN).

Accesión	Nº hojas		Longitud parte aérea (cm)		Peso fresco total (g)		Peso fresco tallo (g)		Peso fresco raíz (g)		Peso fresco hoja (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
TRBA0420	6,25 a-g	6,60 a-g	22,6 b-k	21,2 d-l	19,0 c-n	15,1 g-n	4,9 c-m	2,7 i-m	4,6 b-j	7,7 a-e	9,4 d-l	4,8 h-n
TRBA0720	7,20 a-g	6,80 a-g	24,2 a-j	21,6 c-l	27,8 a-e	15,4 g-n	7,3 a-e	2,8 i-m	6,4 a-j	7,9 a-d	14,1 a-e	4,7 h-n
TRBA1580	6,00 c-g	5,25 g	24,6 a-j	22,5 b-k	24,3 a-j	13,7 j-n	6,2 a-i	3,2 h-m	5,6 a-j	5,9 a-j	12,6 a-f	4,6 h-n
TRBA1830	7,80 a-d	7,00 a-g	24,6 a-j	19,2 e-l	27,5 a-f	14,6 i-n	7,4 a-e	2,8 f-m	6,3 a-j	6,4 a-j	13,9 a-e	5,3 g-n
TRCA0390	6,40 a-g	6,20 b-g	31,5 a-c	25,0 a-j	30,3 a-c	11,7 k-n	9,4 a	3,3 h-m	5,3 a-j	4,6 b-j	15,6 a-c	3,8 k-n
TRCA0570	5,80 d-g	7,00 a-g	24,7 a-j	24,4 a-j	22,5 a-k	14,2 j-n	6,6 a-h	3,8 e-m	4,3 c-j	5,8 a-j	11,7 a-f	4,6 h-n
TRCA1280	5,60 e-g	7,00 a-g	20,1 d-l	20,8 d-l	13,5 j-n	12,0 k-n	3,4 g-m	3,0 i-m	2,7 j	4,6 b-j	7,4 f-n	4,4 j-n
TRPO0010	6,60 a-g	6,80 a-g	24,8 a-j	19,3 e-l	29,2 a-d	13,4 j-n	8,0 a-c	2,7 i-m	5,9 a-j	6,4 a-j	15,3 a-d	4,2 j-n
TRPO0040	6,80 a-g	7,40 a-g	31,7 a-b	33,7 a	19,4 b-n	10,3 l-n	6,7 a-h	2,8 i-m	3,4 h-j	4,0 e-j	9,3 d-l	3,6 l-n
TRVA0030	6,33 a-g	6,75 a-g	24,7 a-j	20,3 d-l	20,8 a-m	12,3 k-n	5,8 b-k	2,6 j-m	4,2 c-j	5,2 a-j	10,8 a-h	4,5 h-n
TRVA1480	6,40 a-g	6,60 a-g	27,3 a-g	19,3 e-l	29,4 a-d	10,3 l-n	8,7 a-b	2,5 j-m	5,8 a-j	4,1 d-j	15 a-d	3,7 l-n
TRVA1730	5,33 g	6,80 a-g	15,7 i-l	16,0 i-l	18,7 d-n	13,6 j-n	4,2 d-m	2,6 i-m	5,1 a-j	6,0 a-j	9,4 d-l	5,0 h-n
TRVA2240	7,20 a-g	6,80 a-g	24,4 a-j	19,7 e-l	31,4 a	16,2 f-n	8,2 a-c	2,8 i-m	7,3 a-g	7,8 a-e	15,9 a	5,6 g-n
TRVI0040	7,00 a-g	6,40 a-g	24,1 a-j	20,8 d-l	28,7 a-e	14,6 i-n	7,5 a-d	3,0 i-m	6,1 a-j	6,7 a-i	15,1 a-d	4,9 h-n
TRVI0130	7,80 a-d	6,00 c-g	22,8 b-k	19,4 e-l	28,7 a-e	9,3 m-n	8,0 a-c	2,9 i-m	6,5 a-j	3,7 f-j	14,1 a-e	2,6 n
TRVI0460	5,40 g	7,80 a-d	22,8 b-k	17,8 g-l	21,5 a-l	14,9 h-n	6,0 a-j	2,5 j-m	5,2 a-j	7,8 a-e	10,4 a-i	4,7 h-n
TRVI1060	6,75 a-g	7,00 a-g	22,0 b-l	19,4 e-l	17,1 e-n	14,8 h-n	4,8 c-m	2,8 i-m	4,0 d-j	7,6 a-f	8,3 e-n	4,4 j-n
TRVI1870	6,20 b-g	6,80 a-g	22,7 b-k	23,4 b-k	26,6 a-g	17,2 e-n	7,4 a-e	3,6 i-m	5,6 a-j	8,1 a-c	13,7 a-e	5,5 g-n
Ferum	5,50 f-g	6,80 a-g	19,9 d-l	17,2 h-l	18,7 d-n	12,6 k-n	4,8 c-m	2,2 l-m	3,9 e-j	6,0 a-j	9,9 b-j	4,4 j-n
Cervil	6,60 a-g	7,67 a-e	23,7 a-k	28,7 a-f	14,8 h-n	6,9 k-n	4,4 d-m	3,4 g-m	3,5 g-j	4,9 a-j	6,9 f-n	3,2 m-n
Levovil	6,20 b-g	6,60 a-g	29,2 a-e	18,8 f-l	26,2 a-h	9,2 n	8,5 a-b	2,5 j-m	4,0 a-j	2,9 i-j	13,7 a-e	3,9 k-n
Plovdiv	5,60 e-g	5,75 d-g	23,2 b-k	25,8 a-i	17,6 e-n	10,8 l-n	4,6 c-m	2,4 j-m	3,9 e-j	5,2 a-j	9,0 e-m	3,3 m-n
LA1420	8,40 a	7,60 a-f	19,4 e-l	18,6 f-l	31,0 a-b	15,2 g-n	6,9 a-g	2,7 i-m	8,5 a-b	8,6 a	15,6 a-b	3,8 k-n
LA0147	5,80 d-g	6,40 a-g	23,3 b-k	17,2 h-l	26,0 a-i	10,7 l-n	7,0 a-f	2,4 j-m	4,7 b-j	4,3 c-j	14,2 a-e	3,9 k-n
Criollo	7,33 a-g	8,20 a-b	20,3 d-l	21,4 d-l	17,5 e-n	13,7 j-n	4,3 d-m	2,1 m	3,5 g-j	7,9 a-d	9,8 b-k	3,7 l-n
SPR	8,00 a-c	8,40 a	26,6 a-h	21,4 d-l	26,0 a-i	14,3 j-n	8,8 a-b	2,6 i-m	4,8 a-j	7,2 a-j	12,5 a-f	4,5 h-n
Regina O.	7,40 a-g	6,80 a-g	17,2 h-l	15,2 j-l	20,8 a-n	11,4 k-n	4,4 d-m	1,7 m	5,2 a-j	6,5 a-j	11,2 a-g	3,3 m-n
Linosa	7,40 a-g	8,20 a-b	23,1 b-k	29,8 a-d	18,6 d-n	12,8 j-n	5,7 b-l	3,4 g-m	3,2 i-j	4,8 a-j	9,7 c-k	4,6 h-n
UC 82	7,00 a-g	8,00 a-c	14,0 k-l	22,6 b-k	16,1 f-n	12,8 j-n	2,7 i-m	2,6 i-m	4,7 b-j	5,5 a-j	8,7 e-m	4,6 h-n
Piriddu	5,60 e-g	6,20 b-g	12,3 l	15,9 i-n	10,4 l-n	11,7 k-n	2,2 k-m	2,2 k-m	3,0 i-j	5,6 a-j	5,2 h-n	3,9 k-n
Promedio	6,59 b	6,92 a	22,9 a	21,2 b	22,7 a	12,8 b	6,2 a	2,7 b	4,9 b	6,0 a	11,6 a	4,3 b

Letras diferentes, dentro de cada variable, indican diferencias significativas entre accesiones. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p$ -valor < 0,05;  $n=5$ ).

En relación al PStot, presentó una disminución de su peso de 0,51%, pasando de 1,21 a 1,30 g al ser cultivado en condiciones de BN. La accesión con un mayor promedio fue TRCA 0390 (3,67 g) en condiciones de AN y de menor promedio fue TRVI 0130 (0,90 g) en condiciones de BN, sin embargo, esta última no presentó diferencias significativas con ninguna accesión en condiciones de BN. De las 30 accesiones evaluadas, 19 mantuvieron su PStot frente a una disminución de los aportes de N, por otra parte, las otras 11 disminuyeron hasta en un 74% (TRVI 0130) su peso (Tabla 5). En tanto a los órganos de la planta (tallo, hoja y raíz), disminuyeron significativamente su peso al ser cultivadas en condiciones de BN, sin embargo, de las 30 accesiones, 21 mantuvieron el PSh y 26 mantuvieron el PFt, sin diferencias significativas; en tanto el PFr la mayoría de las accesiones (16) disminuyeron significativamente su peso (Tabla 6).

### Clorofila, flavonoides, antocianos e índice de balance del nitrógeno

Los niveles de Chl en las hojas disminuyeron al ser cultivadas bajo condiciones de BN, con respecto a las cultivadas en AN, pasando de 20,2 a 18,6  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , en promedio. Los valores fluctuaron de 23,8 a 14,4  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , correspondientes a las accesiones TRCA 0570 y Regina O., respectivamente, ambas cultivadas en condiciones de BN. Todas las accesiones evaluadas no presentaron diferencias significativas, al ser cultivadas en AN y BN, a excepción de Regina O., que disminuyó significativamente sus niveles en un 33% (Tabla 7).

En relación a los Flav, tuvieron un valor promedio en AN de 0,68  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , el cual aumentó en BN a 1,53  $\mu\text{g cm}^{-2}$ . Dentro del tratamiento de AN las accesiones no presentaron diferencias significativas con valores que van de 0,57 a 0,79  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , mientras dentro del tratamiento de BN destacan las accesiones TRBA 0720, TRCA 1280, TRVA 2240, TRVI 0040, TRVI 1060, TRVI 1870, Levovil, Regina O., Linosa y UC 82 con valores significativamente mayores al resto. En ninguna de las 30 accesiones evaluadas se mantuvieron los niveles de Flav al disminuir la aplicación de N, aumentando así sus valores de forma significativa en todos los casos (Tabla 7).

Con respecto a los Anth, aumentaron significativamente, en promedio, al disminuir los aportes de N, pasando de 0,25 a 0,46  $\mu\text{g cm}^{-2}$  en AN y BN, respectivamente. Las accesiones, en el tratamiento de AN, no presentaron diferencias significativas, con valores que fluctúan entre 0,23 a 0,31  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , mientras que dentro del tratamiento de BN, destaca la accesión Ferum con un valor de 0,72  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , significativamente superior al resto de accesiones. De las 30 accesiones evaluadas TRBA 0420, TRCA 0390, TRCA 0570, TRPO 0010, TRPO 0040, TRVI 0130, Cervil, LA1420 y Regina O., mantuvieron sus niveles de Anth en condiciones de AN y BN, mientras que el resto de las accesiones aumentaron significativamente sus valores al disminuir los aportes de N (Tabla 7).

El índice de balance de nitrógeno disminuyó, en promedio, un 58%, al ser cultivado en condiciones de BN, pasando de 30,2 a 12,7 para AN y BN, respectivamente. Todas las accesiones disminuyeron significativamente sus valores de NBI al disminuir los aportes de N y dentro del tratamiento de BN, las accesiones no presentaron diferencias significativas en sus promedios. Los valores fluctuaron de 36,2 (TRVA 0030/AN) a 8,1 (Regina O./BN) (Tabla 7).

Tabla 6. Peso seco total, de hoja, tallo y raíz de las 30 accesión de tomate bajo condiciones de alto (AN) y bajo nitrógeno (BN).

Accesión	Peso seco total (g)		Peso seco hoja (g)		Peso seco tallo (g)		Peso seco raíz (g)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
TRBA0420	1,78 e-m	1,43 g-m	0,83 d-l	0,75 f-l	0,31 d-g	0,34 d-g	0,64 d-r	0,34 j-r
TRBA0720	2,93 a-g	1,29 j-m	1,34 a-j	0,64 i-l	0,55 a-g	0,30 d-g	1,04 a-d	0,35 i-r
TRBA1580	2,92 a-h	1,47 g-m	1,40 a-f	0,76 e-l	0,59 a-g	0,41 b-g	0,93 a-f	0,30 k-r
TRBA1830	2,93 a-g	1,36 i-m	1,35 a-i	0,77 d-l	0,55 a-g	0,30 d-g	1,03 a-e	0,29 l-r
TRCA0390	3,67 a	1,26 j-m	1,83 a	0,60 k-l	0,99 a	0,44 b-g	0,85 b-i	0,22 o-r
TRCA0570	2,63 a-k	1,65 f-m	1,19 a-k	0,94 c-l	0,63 a-g	0,45 b-g	0,80 b-k	0,26 n-r
TRCA1280	1,37 i-m	1,29 j-m	0,60 k-l	0,63 g-l	0,40 c-g	0,34 d-g	0,37 i-r	0,28 m-r
TRPO0010	3,46 a-c	1,26 j-m	1,75 a-b	0,66 g-l	0,69 a-f	0,33 d-g	1,02 a-e	0,28 m-r
TRPO0040	2,17 a-m	1,45 g-m	1,10 b-l	0,76 e-l	0,51 b-g	0,51 b-g	0,55 d-r	0,18 r
TRVA0030	2,37 a-m	1,28 j-m	1,15 a-l	0,73 f-l	0,50 b-g	0,31 d-g	0,73 b-n	0,25 n-r
TRVA1480	3,26 a-e	1,06 l-m	1,48 a-e	0,57 k-l	0,75 a-d	0,29 e-g	1,03 a-d	0,2 p-r
TRVA1730	2,16 a-m	1,30 j-m	0,99 c-l	0,67 g-l	0,39 c-g	0,31 d-g	0,78 b-m	0,32 k-r
TRVA2240	3,52 a-b	1,32 j-m	1,59 a-c	0,71 f-l	0,70 a-e	0,28 e-g	1,23 a-b	0,32 k-r
TRVI0040	3,47 a-b	1,41 g-m	1,75 a-b	0,74 f-l	0,69 a-f	0,37 c-g	1,03 a-d	0,29 l-r
TRVI0130	3,4 a-d	0,90 m	1,38 a-g	0,42 l	0,86 a-b	0,28 e-g	1,16 a-c	0,19 q-r
TRVI0460	2,56 a-l	1,42 g-m	1,15 a-k	0,79 d-l	0,51 b-g	0,35 d-g	0,89 a-h	0,29 l-r
TRVI1060	2,056 b-m	1,39 h-m	0,91 c-l	0,66 g-l	0,44 b-g	0,37 c-g	0,71 c-p	0,36 i-r
TRVI1870	2,79 a-j	1,55 f-m	1,35 a-i	0,79 d-l	0,65 a-f	0,47 b-g	0,79 b-l	0,29 l-r
Ferum	2,05 b-m	1,27 j-m	1,04 b-l	0,71 f-l	0,43 b-g	0,28 e-g	0,58 d-r	0,29 l-r
Cervil	1,50 g-m	1,28 j-m	0,65 h-l	0,54 k-l	0,28 e-g	0,47 b-g	0,52 e-r	0,27 n-r
Levovil	3,02 a-f	1,15 k-m	1,51 a-d	0,64 h-l	0,82 a-c	0,34 d-g	0,69 c-q	0,17 r
Plovdiv	1,93 c-m	1,12 k-m	0,92 c-l	0,59 k-l	0,41 b-g	0,31 d-g	0,61 d-r	0,23 n-r
LA1420	3,61 a	1,29 j-m	1,58 a-c	0,58 k-l	0,63 a-g	0,31 d-g	1,39 a	0,40 g-r
LA0147	3,04 a-f	1,17 k-m	1,48 a-e	0,64 h-l	0,65 a-f	0,32 d-g	0,90 a-g	0,21 o-r
Criollo	1,69 f-m	1,3 j-m	0,93 c-l	0,62 j-l	0,32 d-g	0,29 d-g	0,44 f-r	0,39 h-r
SPR	2,88 a-i	1,35 i-m	1,36 a-h	0,70 f-l	0,67 a-f	0,36 c-g	0,84 b-i	0,30 k-r
Regina O.	2,24 a-m	1,04 l-m	1,05 b-l	0,54 k-l	0,35 d-g	0,18 g	0,84 b-j	0,32 k-r
Linosa	2,36 a-m	1,61 f-m	1,20 a-k	0,87 c-l	0,57 a-g	0,51 b-g	0,59 d-r	0,23 n-r
UC 82	1,89 d-m	1,44 g-m	0,92 c-l	0,78 e-l	0,26 e-g	0,39 c-g	0,71 c-o	0,27 n-r
Piriddu	1,22 k-m	1,03 l-m	0,52 k-l	0,53 k-l	0,24 f-g	0,25 e-g	0,46 f-r	0,25 n-r
Promedio	2,56 a	1,3 b	1,21 a	0,68 b	0,54 a	0,35 b	0,81 a	0,28 b

Letras diferentes, dentro de cada variable, indican diferencias significativas entre combinaciones de accesión y tratamiento. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p$ -valor  $< 0,05$ ;  $n=5$ ).

Tabla 7. Contenido de clorofila, flavonoides, antocianos e índice de balance de nitrógeno para las 30 accesión de tomate bajo condiciones de alto y bajo nitrógeno (BN).

Accesión	Clorofila ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )		Flavonoides ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )		Antocianos ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )		Índice de Balance de Nitrógeno	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
TRBA0420	20,3 a-e	17,9 a-e	0,62 j	1,53 b-g	0,25 k-o	0,41 c-k	32,9 a-e	11,8 h
TRBA0720	21,1 a-e	16,8 b-e	0,69 j	1,74 a-d	0,24 m-o	0,54 b-c	31,3 a-e	9,9 h
TRBA1580	21,1 a-e	21,7 a-d	0,67 j	1,48 b-g	0,23 n-o	0,42 c-i	31,5 a-e	16,3 g-h
TRBA1830	21,4 a-d	18,9 a-e	0,73 j	1,54 b-g	0,24 m-o	0,45 b-f	30,2 a-e	12,8 h
TRCA0390	19,9 a-e	19,3 a-e	0,76 j	1,37 d-g	0,25 m-o	0,40 c-n	26,6 b-e	14,3 h
TRCA0570	19,3 a-e	17,3 a-e	0,69 j	1,29 e-g	0,29 g-o	0,41 c-m	29,0 a-e	14,3 h
TRCA1280	20,7 a-e	23,8 a	0,69 j	1,61 a-e	0,25 h-o	0,47 b-f	30,8 a-e	14,8 h
TRPO0010	21,0 a-e	21,1 a-e	0,78 j	1,42 c-g	0,23 n-o	0,35 e-o	27,7 a-e	15,2 h
TRPO0040	20,4 a-e	19,0 a-e	0,61 j	1,39 d-g	0,23 o	0,31 f-o	33,6 a-e	14,0 h
TRVA0030	21,6 a-d	19,2 a-e	0,60 j	1,48 b-g	0,23 o	0,42 c-j	36,2 a	13,0 h
TRVA1480	20,8 a-e	22,7 a-c	0,72 j	1,39 c-g	0,26 i-o	0,45 b-f	29,5 a-e	16,9 f-h
TRVA1730	19,6 a-e	18,6 a-e	0,75 j	1,51 b-g	0,27 i-o	0,46 b-f	26,0 c-e	12,3 h
TRVA2240	20,1 a-e	18,7 a-e	0,67 j	1,62 a-e	0,26 i-o	0,50 b-e	30,3 a-e	11,8 h
TRVI0040	21,3 a-e	18,7 a-e	0,66 j	1,63 a-e	0,24 o	0,48 b-e	32,6 a-e	11,6 h
TRVI0130	19,6 a-e	18,1 a-e	0,67 j	1,17 g-i	0,25 i-o	0,36 d-o	29,5 a-e	15,9 g-h
TRVI0460	20,0 a-e	21,8 a-d	0,79 i-j	1,51 b-g	0,27 j-o	0,44 b-g	25,6 d-f	14,8 h
TRVI1060	17,8 a-e	16,8 b-e	0,73 j	1,77 a-c	0,25 g-o	0,49 b-e	24,8 e-g	9,8 h
TRVI1870	22,5 a-c	17,5 a-e	0,66 j	1,86 a-b	0,24 n-o	0,49 b-e	34,3 a-d	9,5 h
Ferum	19,6 a-e	18,0 a-e	0,67 j	1,58 b-f	0,24 n-o	0,72 a	29,9 a-e	11,8 h
Cervil	17,9 a-e	17,5 a-e	0,64 j	1,23 f-h	0,25 l-o	0,37 d-o	28,9 a-e	14,4 h
Levovil	22,4 a-c	17,3 a-e	0,66 j	1,63 a-e	0,23 n-o	0,59 a-b	34,7 a-d	10,7 h
Plovdiv	20,5 a-e	16,2 c-e	0,57 j	1,48 b-g	0,25 k-o	0,50 b-e	35,7 a-b	11,2 h
LA1420	19,4 a-e	15,0 d-e	0,71 j	1,35 e-g	0,27 h-o	0,43 b-h	27,5 a-e	11,3 h
LA0147	21,5 a-d	23,2 a-b	0,66 j	1,41 c-g	0,23 n-o	0,41 c-l	33,4 a-e	16,6 f-h
Criollo	16,0 c-e	16,6 b-e	0,61 j	1,42 c-g	0,31 f-o	0,49 b-e	26,4 c-e	12,0 h
SPR	22,3 a-c	20,2 a-e	0,62 j	1,49 b-g	0,23 o	0,49 b-e	36,1 a	13,8 h
Regina O.	21,4 a-d	14,4 e	0,62 j	1,82 a-b	0,23 n-o	0,37 d-o	34,7 a-c	8,1 h
Linosa	20,3 a-e	17,0 a-e	0,84 h-j	1,62 a-e	0,25 i-o	0,47 b-f	24,9 e-g	10,7 h
UC 82	21,0 a-e	17,5 a-e	0,79 i-j	1,99 a	0,27 m-o	0,51 b-d	27,5 a-e	9,0 h
Piriddu	15,9 c-e	17,3 a-e	0,64 j	1,54 b-g	0,27 g-o	0,50 b-e	25,0 e-g	11,2 h
Promedio	20,2 a	18,6 b	0,68 b	1,53 a	0,25 b	0,46 a	30,2 a	12,7 b

Letras diferentes, dentro de cada variable, indican diferencias significativas entre combinaciones de accesión y tratamiento. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p$ -valor  $< 0,05$ ;  $n=5$ ).

### Contenido de nitrógeno y carbono

El Ch disminuyó su promedio de 4,65 a 1,24% de AN a BN, respectivamente, los valores fluctuaron de 5,88% (Cervil/AN) a 1,02% (Regina O./BN) y todas las accesiones disminuyeron de forma significativa al ser comparadas en condiciones de AN a BN. En tanto al Nt, también disminuyó en promedio de 2,30 a 0,81 ante la disminución de aportes de N, los valores fluctuaron desde 3,75% (Cervil/AN) a 0,63% (Cervil/BN) y 17 de las 30 accesiones estudiadas fueron capaces de mantener sus niveles de N sin una disminución significativa. El Nr de la raíz disminuyó en promedio al ser cultivado en BN pasando de 2,10 a 1,33% en condiciones de AN y BN, respectivamente, los valores fluctuaron de 2,61% (Criollo/AN) a 1,08% (Plovdiv/BN) y solo 8 de las 30 accesiones estudiadas mantuvieron los niveles de N sin una disminución significativa (Tabla 8).

En relación al contenido de C, se vieron reducidos sus niveles promedios en las hojas pasando de 39,7 a 37,3% en AN y BN respectivamente, los valores fluctuaron de 41,2 (Linosa/AN) a 35,4 (TRVA1730) y la mitad de las accesiones (15 de las 30) mantuvieron el porcentaje sin variación significativa al comparar las plantas de AN y BN. Por otro lado, el Ct, aumentó de 36,8 a 35,9% al disminuir la fertilización nitrogenada, los valores fluctuaron de 38,8 (Criollo/BN) a 32,2% (Cervil/AN) y ninguna de las accesiones presentó una variación significativa al ser cultivadas en condiciones de AN y BN a excepción de Cervil, la cual aumentó en un 17% su contenido al disminuir la disponibilidad de N. El Cr también aumentó su porcentaje al disminuir los niveles de fertilización nitrogenada, pasando de un promedio de 30,9 a 38,6%, los valores fluctuaron de 40,1 (TRVA 1480/BN) a 13,8% (Ferum/AN) y tan solo 6 accesiones se mantuvieron sin diferencias significativas en sus promedios en condiciones de AN y BN (Tabla 8).

### Eficiencia de absorción, utilización y uso del nitrógeno

La NU<sub>p</sub>E disminuyó, en promedio, de 0,67 a 0,39 para condiciones de AN y BN, respectivamente, donde 12 de las 30 accesiones disminuyeron significativamente en BN y 18 mantuvieron los niveles de eficiencia (Tabla 9). Dentro del tratamiento de BN ninguna de las accesiones fue estadísticamente diferente, encontrándose los valores de NU<sub>p</sub>E en un rango menor que en el tratamiento de AN (Figura 6).

En relación a la NU<sub>t</sub>E, este aumentó considerablemente en un 65%, pasando de 31,0 en AN a 89,6 en BN en promedio de todas las accesiones. En la Figura 7, se observa que todas las accesiones alcanzaron un una mayor NU<sub>t</sub>E en condiciones limitadas de N (BN) que cualquier accesión cultivada con AN, de la cual las diferencias son estadísticamente significativas (Tabla 9).

Los valores del NUE fluctuaron de 43,6 (TRCA 0570/BN) a 10,1 (Piriddu/AN). Los valores promedios de las accesiones aumentaron en un 48% al ser cultivadas en condiciones de BN, pasando de 21,2 a 34,4, sin embargo, solo 20 de las 30 accesiones aumentaron de forma significativa su NUE (Tabla 9). La accesión TRVI 0130 fue la única que no aumentó su NUE en condiciones de BN, disminuyendo su promedio de 28,2 a 23,7 (Figura 8).

Tabla 8. Contenido de nitrógeno (N) y carbono (C) de hoja, tallo y raíz para las 30 accesión de tomate bajo condiciones de alto (AN) y bajo nitrógeno (BN).

Accesión	N de hoja (%)		N de tallo (%)		N de raíz (%)		C de hoja (%)		C de tallo (%)		C de raíz (%)	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN	AN	BN
TRBA0420	5,46 a-d	1,13 j	3,32 a-c	0,85 i-m	2,23 a-c	1,35 l-n	38,8 a-m	37,1 i-o	33,3 e-g	36,9 a-f	27,9 o-p	39,3 a-c
TRBA0720	4,54 c-i	1,25 j	2,05 c-k	0,70 l-m	2,00 b-i	1,29 n	39,9 a-g	36,6 k-o	36,7 a-f	36,6 a-f	30,9 l-p	39,3 a-c
TRBA1580	4,39 d-i	1,29 j	2,14 c-i	0,88 h-m	2,07 a-f	1,38 j-n	40,2 a-d	37,0 i-o	36,2 a-g	36,2 a-g	32,3 j-o	39,2 a-c
TRBA1830	4,55 c-i	1,27 j	1,98 d-l	0,91 h-m	2,29 a-b	1,65 c-n	40,3 a-c	36,3 m-o	36,5 a-f	35,2 a-g	33,0 f-o	39,1 a-c
TRCA0390	3,88 h-i	1,60 j	1,44 e-m	0,92 h-m	2,04 a-g	1,25 n	40,9 a-b	37,7 d-o	37,9 a-c	37,2 a-e	34,6 c-m	38,7 a-c
TRCA0570	4,55 c-i	1,32 j	2,18 c-h	0,79 j-m	2,02 a-h	1,44 h-n	39,0 a-k	38,1 c-n	35,5 a-g	36,3 a-g	34,8 b-m	39,3 a-c
TRCA1280	5,65 a-c	1,33 j	3,08 a-d	0,95 g-m	2,39 a-b	1,44 h-n	38,1 c-n	37,3 g-o	32,9 f-g	36,1 a-g	35,8 a-l	38,0 a-i
TRPO0010	3,99 f-i	1,19 j	1,82 d-m	0,87 h-m	1,97 b-j	1,28 n	40,5 a-c	36,9 j-o	37,6 a-d	36,3 a-g	32,2 j-p	37,8 a-i
TRPO0040	4,89 a-i	1,19 j	2,28 c-f	0,78 k-m	1,95 b-k	1,24 n	40 a-f	37,9 c-n	36,7 a-f	38,0 a-b	31,9 l-p	38,4 a-c
TRVA0030	4,70 a-i	1,26 j	2,24 c-g	0,98 f-m	1,94 b-k	1,49 f-n	39,6 a-i	37,3 h-o	36,1 a-g	37,3 a-e	27,0 p	38,4 a-d
TRVA1480	3,93 g-i	1,42 j	1,91 d-m	0,94 g-m	1,96 b-j	1,41 i-n	39,9 a-h	37,1 i-o	37,0 a-f	36,6 a-f	33,0 g-o	40,1 a
TRVA1730	4,99 a-i	1,34 j	1,93 d-m	0,80 j-m	1,65 c-n	1,43 h-n	38,5 b-n	35,4 o	35,6 a-g	36,2 a-g	33,2 b-n	38,5 a-c
TRVA2240	3,89 h-i	1,15 j	1,62 e-m	0,85 i-m	2,08 a-e	1,6 e-n	40,1 a-d	36,1 n-o	37,0 a-f	36,3 a-g	33,1 e-o	37,5 a-i
TRVI0040	3,74 i	1,06 j	1,83 d-m	0,85 i-m	2,12 a-e	1,26 n	40,2 a-d	37,0 j-o	37,3 a-e	36,4 a-f	31,9 l-p	40,0 a-b
TRVI0130	4,56 b-i	1,8 j	1,83 d-m	0,78 j-m	1,90 b-m	1,46 g-n	39,4 a-j	36,7 k-o	37,0 a-f	35,5 a-g	31,2 l-p	38,9 a-c
TRVI0460	4,73 a-i	1,08 j	2,60 a-e	0,81 j-m	1,63 d-n	1,32 l-n	40,2 a-d	37,3 h-o	34,8 a-g	37,8 a-d	29,1 n-p	38,0 a-h
TRVI1060	4,88 a-i	1,33 j	2,71 a-e	0,68 l-m	1,97 b-j	1,27 n	39,0 a-l	36,3 l-o	33,9 c-g	37,1 a-e	32,0 k-p	38,1 a-g
TRVI1870	4,66 a-i	1,15 j	2,07 c-j	0,79 j-m	1,99 b-i	1,46 i-n	39,9 a-g	36,3 l-o	36,3 a-g	36,5 a-f	31,3 l-p	38,3 a-e
Ferum	4,71 a-i	1,14 j	2,75 a-e	0,71 l-m	2,22 a-d	1,17 n	38,9 a-m	37,9 c-o	33,7 d-g	37,4 a-e	13,8 q	38,7 a-c
Cervil	5,88 a	1,71 j	3,75 a	0,63 m	2,33 a-b	1,22 n	39,3 a-j	39,4 a-j	32,2 g	37,7 a-d	28,7 n-p	38,8 a-c
Levovil	3,79 i	1,04 j	1,71 e-m	0,85 i-m	2,09 a-e	1,33 l-n	40,2 a-d	38,4 b-n	37,7 a-d	37,4 a-e	31,2 l-p	39 a-c
Plovdiv	5,15 a-g	1,05 j	2,35 b-e	0,75 k-m	2,29 a-b	1,08 n	40,8 a-b	38,8 a-m	36,0 a-g	37,7 a-d	29,1 n-p	37,8 a-i
LA1420	4,21 e-i	1,14 j	1,56 e-m	0,69 l-m	2,06 a-f	1,31 n	40,1 a-e	37,4 f-o	37,0 a-f	36,1 a-g	32,8 i-o	39,1 a-c
LA0147	4,10 e-i	1,28 j	2,17 c-i	0,94 g-m	2,13 a-e	1,31 m-n	39,3 a-j	37,5 d-o	36,2 a-g	35,7 a-g	32,7 i-o	37,4 a-j
Criollo	5,28 a-e	1,35 j	3,35 a-c	0,86 i-m	2,61 a	1,19 n	38,9 a-m	38,5 b-n	35,0 a-g	38,8 a	31,2 l-p	38,0 a-i
SPR	4,31 d-i	1,03 j	1,92 d-m	0,72 l-m	1,91 b-l	1,28 n	39,6 a-i	37,4 f-o	37,3 a-e	36,9 a-f	29,9 m-p	38,2 a-f
Regina O.	5,08 a-h	1,02 j	2,51 a-e	0,81 j-m	2,39 a-b	1,19 n	40,0 a-f	37,0 j-o	35,4 a-g	35,2 a-g	30,4 m-p	38,8 a-c
Linosa	4,11 e-i	1,00j	1,81 d-m	0,72 l-m	2,12 a-e	1,19 n	41,2 a	38,9 a-m	37,4 a-e	37,6 a-d	32,9 h-o	38,2 a-g
UC 82	5,19 a-f	1,03 j	2,36 b-e	0,65 m	2,29 a-b	1,26 n	38,8 a-m	36,7 k-o	35,6 a-g	37,1 a-f	29,1 n-p	37,2 a-k
Piriddu	5,81 a-b	1,27 j	3,61 a-b	0,85 i-m	2,33 a-b	1,36 k-n	39,2 a-k	36,0 n-o	34,1 b-g	36,4 a-g	30,3 m-p	38,8 a-c
Promedio	4,65 a	1,24 b	2,30 a	0,81 b	2,10 a	1,33 b	39,7 a	37,3 b	35,9 b	36,8 a	30,9 b	38,6 a

Letras diferentes, dentro de cada variable, indican diferencias significativas entre combinaciones de accesión y tratamiento. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p$ -valor < 0,05;  $n=5$ ).

Tabla 9. Eficiencia de absorción del nitrógeno (NUpE), eficiencia de utilización del nitrógeno (NUtE) y eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) para las 30 accesión de tomate bajo condiciones de alto (AN) y bajo nitrógeno (BN).

Accesión	NUpE		NUtE		NUE	
	AN	BN	AN	BN	AN	BN
TRBA0420	0,57 a-n	0,42 g-n	25,7 g	90,3 a-f	14,7 i-l	37,7 a-e
TRBA0720	0,76 a-e	0,38 j-n	31,7 g	88,7 a-f	24,3 a-l	34,0 a-i
TRBA1580	0,75 a-f	0,44 e-n	31,9 g	86,7 d-f	24,2 a-l	38,8 a-d
TRBA1830	0,78 a-d	0,46 d-n	31,1 g	78,8 d-f	24,3 a-l	35,9 a-g
TRCA0390	0,85 a-b	0,44 f-n	35,8 g	77,2 e-f	30,4 a-k	33,3 a-j
TRCA0570	0,63 a-k	0,52 c-n	32,6 g	84,0 b-f	21,8 c-l	43,6 a
TRCA1280	0,44 e-n	0,42 g-n	25,1 g	80,1 d-f	11,3 k-l	33,9 a-i
TRPO0010	0,84 a-c	0,37 j-n	33,9 g	89,5 a-f	28,7 a-l	33,3 a-j
TRPO0040	0,62 a-l	0,38 i-n	28,6 g	95,7 a-e	17,9 f-l	37,0 a-d
TRVA0030	0,65 a-j	0,42 g-n	30,1 g	81,2 c-f	19,7 d-l	33,8 a-i
TRVA1480	0,75 a-f	0,36 j-n	35,7 g	77,8 e-f	27,0 a-l	28,1 a-l
TRVA1730	0,54 b-n	0,42 g-n	33,9 g	81,2 c-f	17,9 f-l	34,2 a-i
TRVA2240	0,81 a-c	0,41 h-n	35,9 g	84,8 a-f	29,2 a-l	34,9 a-h
TRVI0040	0,83 a-c	0,39 i-n	34,8 g	96,6 a-e	28,8 a-l	37,1 a-f
TRVI0130	0,82 a-c	0,33 k-n	33,7 g	73,0 f	28,2 a-l	23,7 b-l
TRVI0460	0,65 a-j	0,40 i-n	31,8 g	94,5 a-f	21,2 d-l	37,6 a-e
TRVII060	0,53 b-n	0,40 i-n	30,4 g	89,6 a-f	17,0 g-l	36,6 a-f
TRVII870	0,73 a-g	0,45 e-n	31,0 g	92,0 a-f	23,1 b-l	40,8 a-c
Ferum	0,60 a-m	0,36 j-n	28,2 g	95,6 a-f	16,9 g-l	33,7 a-i
Cervil	0,48 d-n	0,40 i-n	24,3 g	84,2 a-f	12,0 k-l	33,7 a-i
Levovil	0,70 a-i	0,31 l-n	35,9 g	97,4 a-e	25,0 a-l	30,3 a-k
Plovdiv	0,56 a-n	0,28 m-n	27,6 g	103,6 a-c	16,0 h-l	29,7 a-l
LA1420	0,86 a	0,37 j-n	34,6 g	92,2 a-f	29,9 a-k	34,0 a-i
LA0147	0,75 a-f	0,37 j-n	33,2 g	86,7 a-f	25,2 a-l	30,9 a-k
Criollo	0,52 c-n	0,41 h-n	24,6 g	86,6 a-f	14,0 j-l	34,4 a-h
SPR	0,72 a-h	0,35 j-n	32,9 g	100,6 a-d	23,9 b-l	35,7 a-g
Regina O.	0,66 a-j	0,27 n	27,6 g	102,4 a-b	18,5 e-l	28,1 a-l
Linosa	0,59 a-m	0,40 i-n	33,0 g	106,6 a	19,6 d-l	42,6 a-b
UC 82	0,58 a-m	0,36 j-n	26,9 g	105,9 a-b	15,7 h-l	37,9 a-e
Piriddu	0,40 i-n	0,32 k-n	26,3 g	84,2 a-f	10,1 l	27,2 a-l
Promedio	0,67 a	0,39 b	31,0 b	89,6 a	21,2 b	34,4 a

Letras diferentes, dentro de cada variable, indican diferencias significativas entre combinaciones de accesión y tratamiento. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p$ -valor < 0,05;  $n=5$ ).

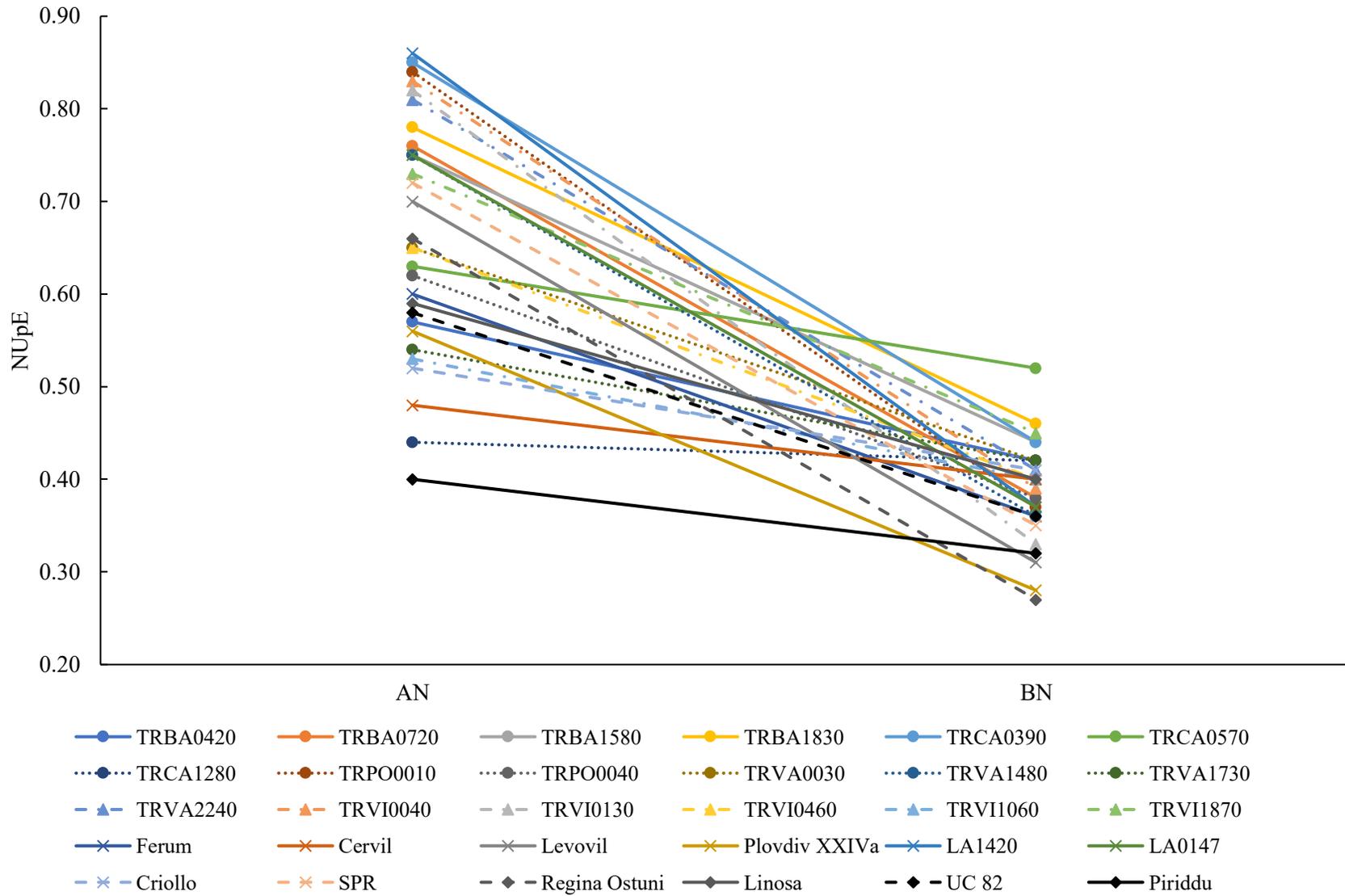


Figura 6. Eficiencia de absorción de nitrógeno (NUpE) en 30 accesiones de tomate bajo condiciones de alto y bajo nitrógeno (AN y BN).

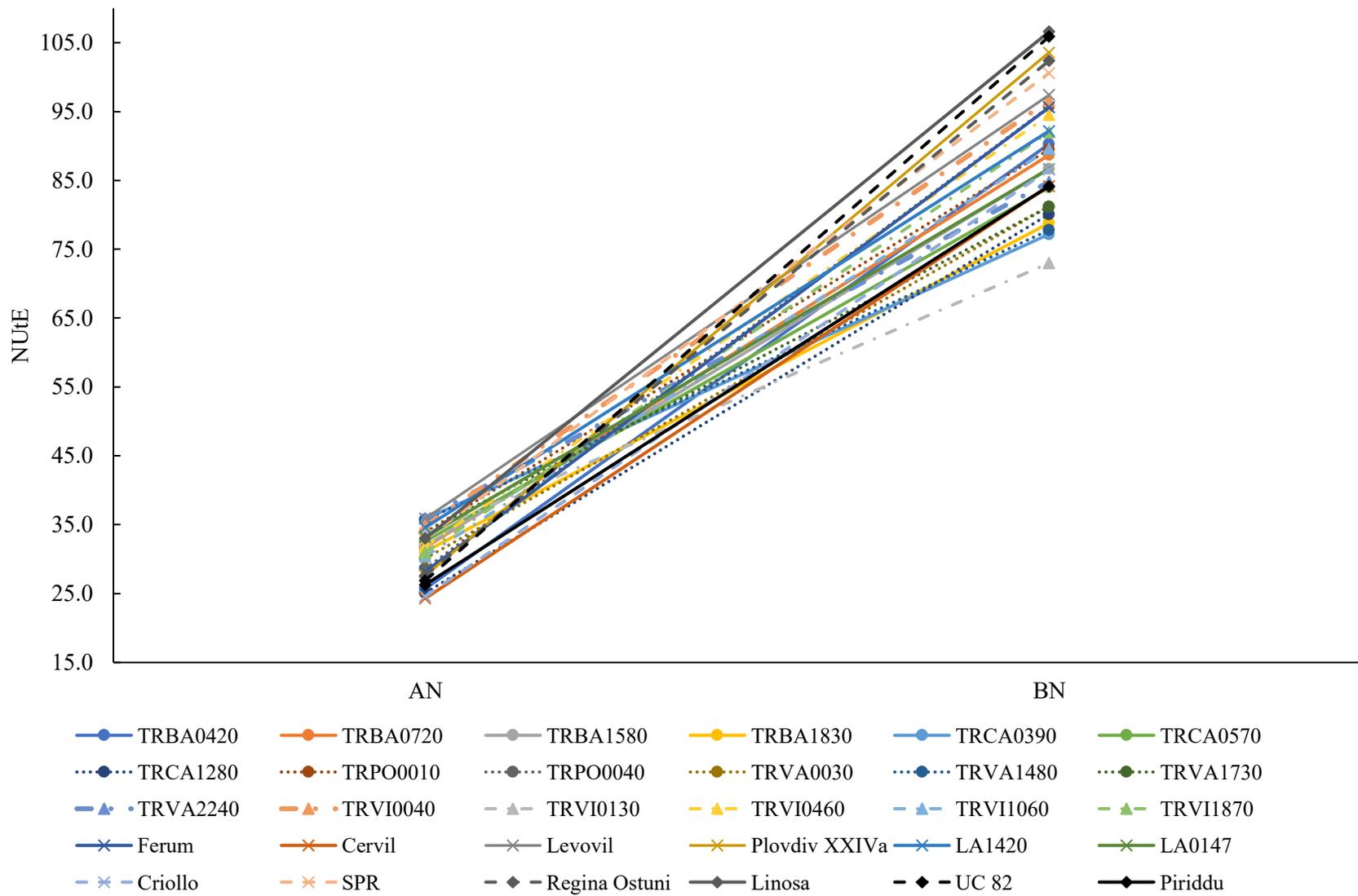


Figura 7. Eficiencia de utilización de nitrógeno (NUtE) en 30 accesiones de tomate bajo condiciones de alto y bajo nitrógeno (AN y BN).

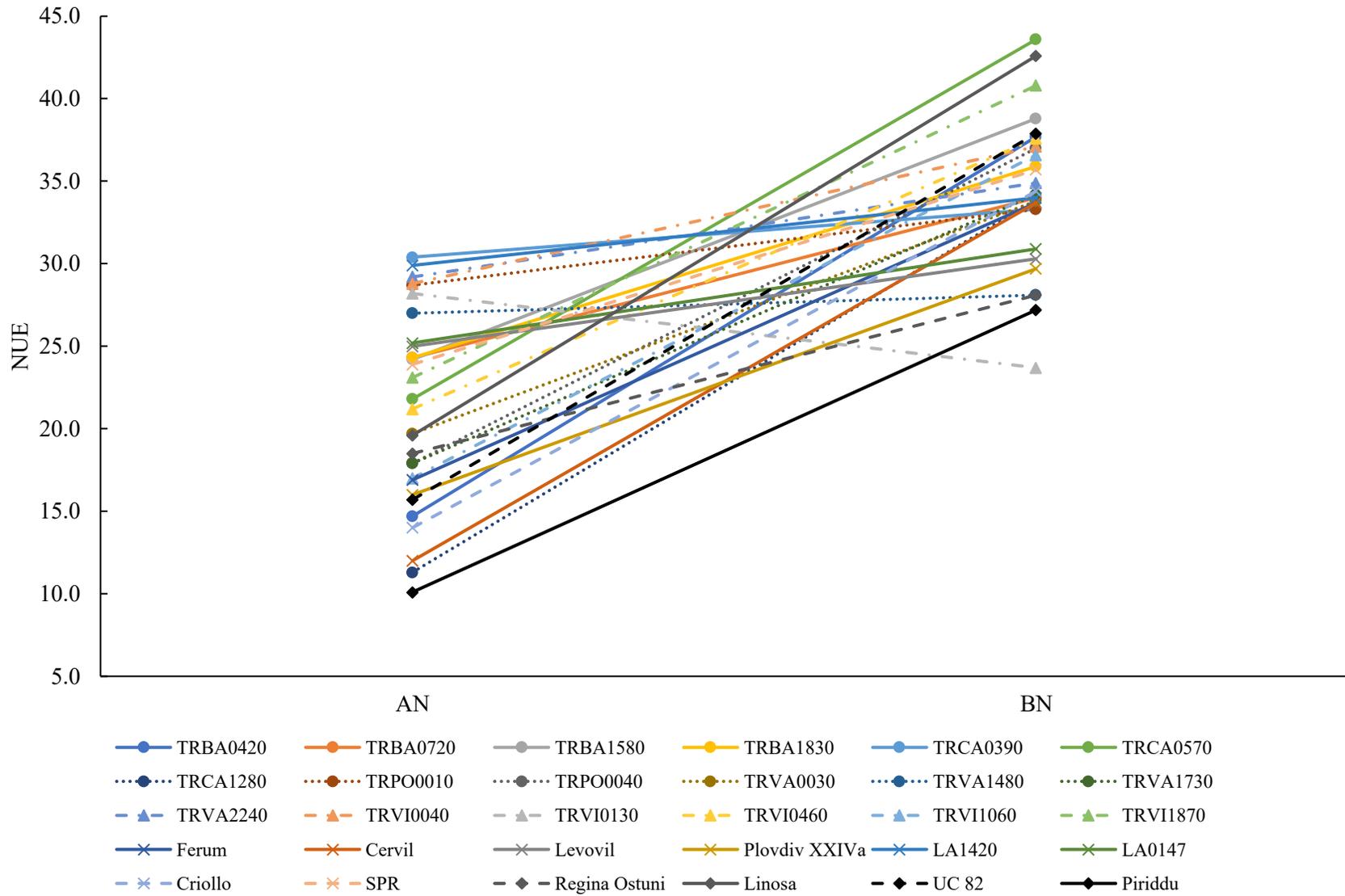


Figura 8. Eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) en 30 accesiones de tomate bajo condiciones de alto y bajo nitrógeno (AN y BN).

### Análisis de componentes principales y correlaciones

Las correlaciones entre los caracteres medidos presentaron un mayor número de correlaciones significativas para condiciones de AN que de BN, en condiciones de AN se correlacionaron significativamente 126 caracteres, mientras que en BN, se correlacionaron significativamente 45 caracteres. En condiciones de AN, se observó en gran número de los casos, correlaciones positivas entre la NUpE, NUtE y NUE con un mayor peso fresco y seco; en condiciones de BN estos parámetros se correlacionaron de igual forma, a excepción del NUtE, que no presentó una correlación significativa. Dentro del tratamiento de AN se observó una correlación negativa entre el porcentaje de N en tallo, hoja y raíz con el peso fresco y seco y la NUpE, NUtE y NUE y una correlación positiva entre el porcentaje de C en tallo, hoja con el peso fresco y seco y la NUpE, NUtE y NUE; contrario a esto, las correlaciones de C y N no tuvieron una mayor importancia para condiciones de BN. (Figura 9).

El gráfico bi-plot del análisis de componentes principales (PCA) fue desarrollado con todas las variables medidas para cada una de las accesiones en condiciones de AN y BN, este representa 79,6% de la variabilidad de los datos entre las dos componentes, explicando la componente principal 1 (PC1) el 60,6% de la variabilidad y la componente principal 2 (PC2) un 19% (Figura 10).

Las accesiones de los tratamientos con mayor disponibilidad de N se proyectan en su totalidad al lado izquierdo del gráfico, esto indica que presentan valores más elevados de LongPA, PFtot, PFt, PFh, PFh, PStot, PSt, PSh, PSr, Chl, NBI, Nt, Nh, Nr, Ch y NUpE con respecto a los otros tratamientos. Por el contrario, las accesiones de los tratamientos con menor disponibilidad de N, se proyectan hacia el lado derecho del gráfico, por lo que presentan un mayor N<sup>o</sup>h, PFr, Flav, Anth, Ct, Cr, NUtE y NUE que los otros tratamientos (Figura 10). Tal como se observa en el PCA (Figura 10) el comportamiento de las accesiones utilizadas en este ensayo cuando se ven sometidas a una reducción de nitrógeno es claramente distintivo.

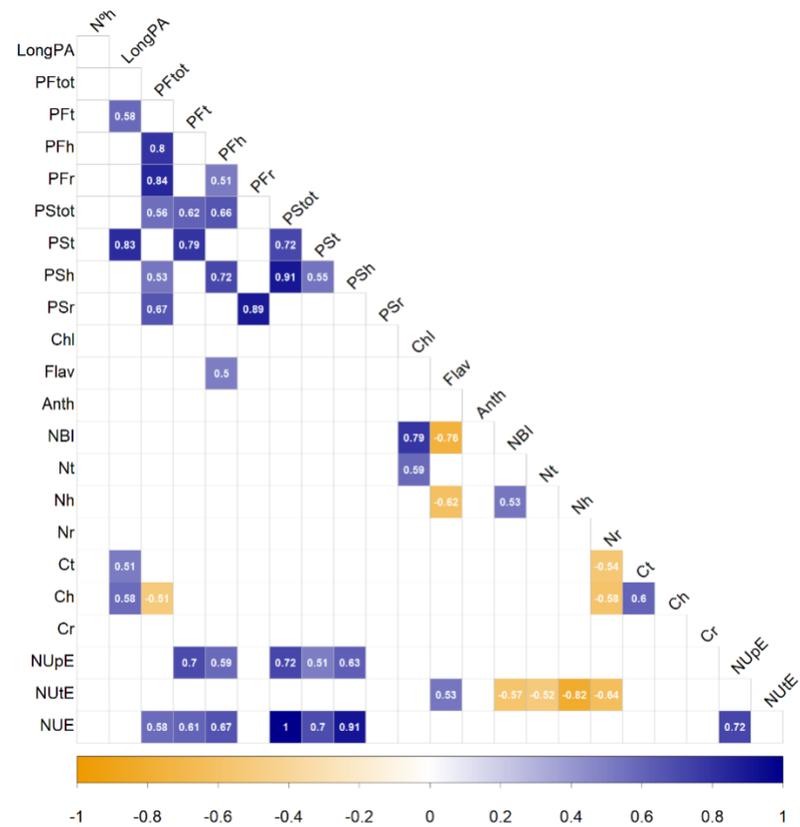
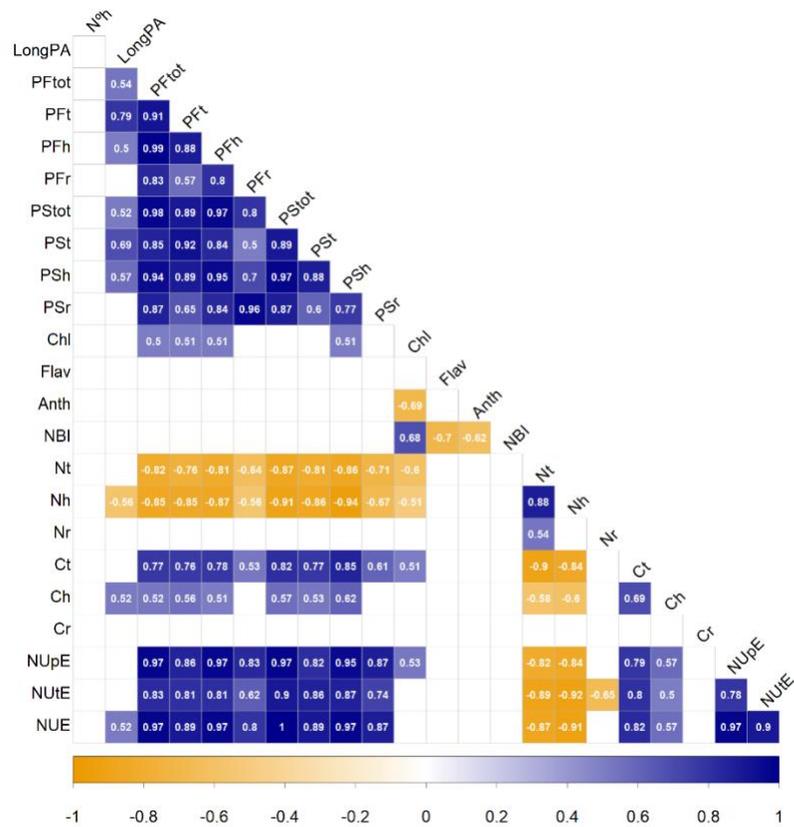


Figura 9. Coeficientes de la matriz de correlaciones para condiciones de alto (izquierda) y bajo (derecha) nitrógeno; signos positivos indican correlación directa, signos negativos indican correlación inversa. Correlaciones estadísticamente significativas ( $p$ -valor  $< 0,005$ )

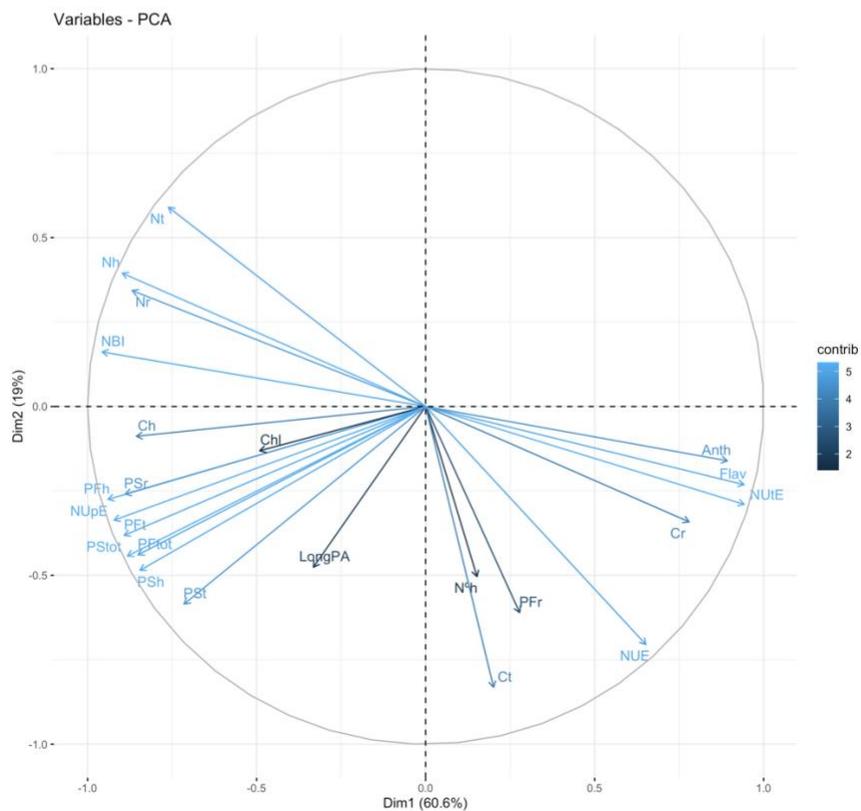
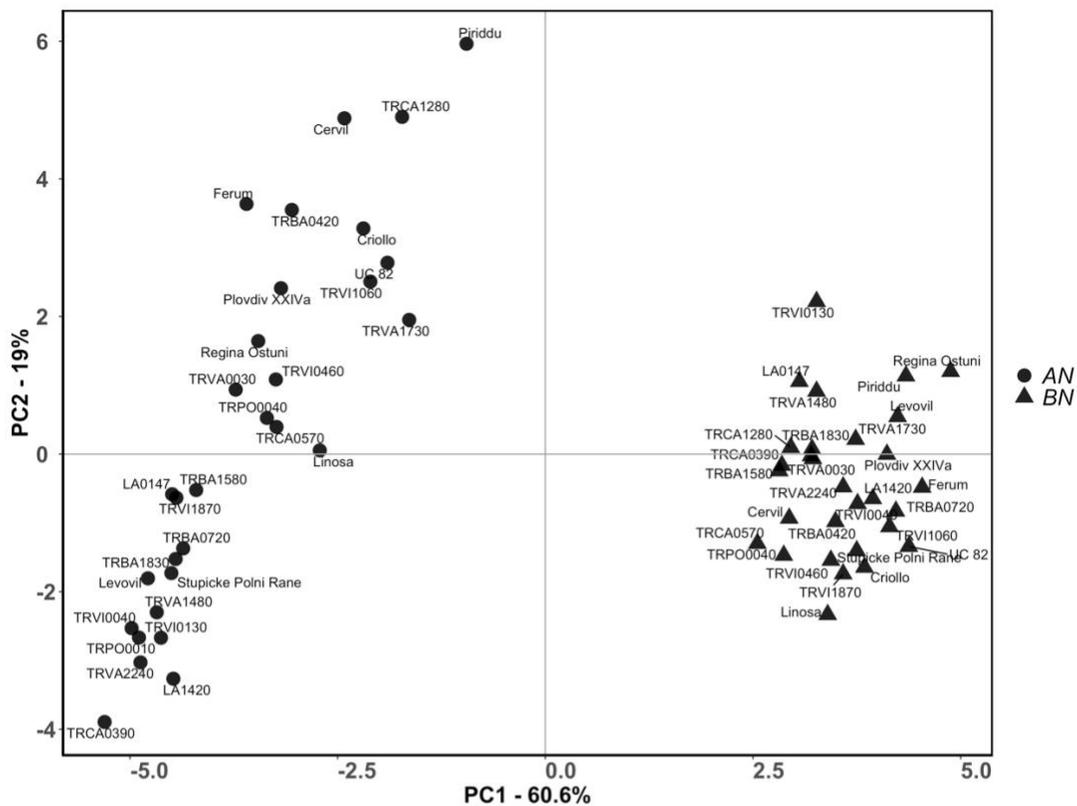


Figura 10. Análisis de componentes principales de las 30 accesiones de tomate en condiciones de bajo y alto nitrógeno.

## 5. DISCUSIÓN

En relación al crecimiento de las plantas de tomate, cultivadas bajo condiciones de AN y BN, la variabilidad encontrada en los parámetros de N<sup>o</sup>h y LongPA, se debe en mayor medida, a la accesión y está menos influenciada por el tratamiento, lo que se puede explicar por el tiempo de duración de los ensayos que fue de 40 y 65 días después del trasplante, con el fin de que las plantas estuvieran en el mismo estado fenológico (inicio de botón floral) en el momento de ser cortadas. A pesar de esto, el tratamiento generó en las plantas una disminución en la LongPA y un aumento del N<sup>o</sup>h al ser cultivado con limitaciones de N, contrario a los resultados, un estudio realizado en *S. nigrum*, especie del mismo género que el tomate, presentó una disminución tanto del N<sup>o</sup>h como de la LongPA, al ser evaluados en un estado fenológico similar a este ensayo (Bvenura y Afolayan, 2014).

Por otro lado, el peso seco y el peso fresco de las plantas, se vio afectado en mayor medida por los tratamientos que por las accesiones. El PF<sub>tot</sub> y el PS<sub>tot</sub> tuvieron un comportamiento similar, presentaron una correlación positiva y significativa de 0,98 (AN) y 0,56 (BN), y las accesiones que mantuvieron su peso en condiciones limitadas de N son las mismas a excepción de SPR que redujo significativamente su peso fresco y no su peso seco. La disminución del PF<sub>tot</sub> de las plantas se debió a una disminución del PF<sub>t</sub> y PF<sub>h</sub>, mientras la disminución del PS<sub>tot</sub>, se debió a la disminución del peso de los tres órganos (P<sub>St</sub>, P<sub>Sh</sub> y P<sub>Sr</sub>). El aumento de la contribución del peso de la raíz en el peso seco y no en el peso fresco se puede explicar principalmente por el estado de hidratación del sustrato en las plantas de BN que fue mayor al de AN, lo que permitió un aumento del peso de la raíz en las plantas de BN debido a un mayor contenido de agua. De igual forma que los resultados obtenidos, con respecto al peso total, en otros estudios de tomate han demostrado que se genera una mayor biomasa total, al aplicar una mayor dosis de fertilizante nitrogenado (Gonzaga et al., 2021). Los resultados de Kashem et al. (2015), indicaron que el aumento del peso total de las plantas se debe en gran medida al aumento del peso de raíces y hojas, lo cual se asimila a lo obtenido con el P<sub>Sr</sub> y P<sub>Sh</sub> en este estudio.

Una mayor dosis de fertilización de N genera un aumento en el contenido de clorofila (Skudra y Ruza, 2017) que contribuye a un mayor rendimiento (Kizilgeci et al., 2021), por otro lado, el contenido de flavonoides y antocianos se ve favorecido por condiciones de baja disponibilidad de N (Zhang et al., 2019), el alto contenido de estos compuestos puede favorecer un mayor crecimiento de las plantas cuando son cultivadas en condiciones deficitarias de N (Li et al., 2021). En el PCA se observa que una mayor cantidad de N disponible para las plantas genera un mayor nivel de clorofila en hoja y niveles más bajos de flavonoides y antocianos, sin embargo, los niveles de clorofila se correlacionaron positivamente con el PF<sub>tot</sub> en condiciones de AN pero no presentaron correlación en BN, por otro lado, tanto los fla como la cantidad de antocianos no tuvieron una correlación significativa con el PS<sub>tot</sub> ni con el PF<sub>tot</sub> en ninguno de los casos pero sí contribuyen a un aumento del PF<sub>h</sub> en condiciones limitadas de nitrógeno. La ausencia de correlaciones altas, indica que, dentro de cada tratamiento, los pigmentos de las accesiones no tuvieron una contribución importante para generar una mayor biomasa, sin embargo, existe un efecto positivo para el contenido de clorofila en condiciones de AN y de flavonoides en condiciones de BN.

El NBI es un indicador del estado del nitrógeno en la planta a través de una relación de la clorofila y los flavonoides. Una planta con alto contenido de N sintetiza más clorofila y aumenta su NBI, mientras que una planta con bajo contenido de N sintetiza más flavonoides, disminuyendo su NBI (Dualet, 2019). En el caso en estudio, se demuestra que aquellas plantas que recibieron un mayor aporte de N aumentaron el NBI. Se observa, que tanto en AN como en BN, el NBI se correlaciona positivamente con el contenido de clorofila y negativamente con los flavonoides, como era de esperar. Milagres et al., (2018), encontraron resultados similares en *S. tuberosum*, donde se observó un aumento en el NBI debido al aumento del contenido de clorofila y una disminución del contenido de flavonoides, al aumentar la disponibilidad de nitrógenos en las plantas. A pesar de tener un efecto claro sobre el tratamiento, el NBI no presenta un importante efecto en las accesiones, donde no se correlacionó significativamente con el peso de las plantas, pero sí con un mayor Nh. Rongaet al., (2018), también encontraron correlaciones positivas y significativas entre el NBI y el contenido de N en las hojas al evaluar plantas de tomate bajo condiciones de estrés por frío.

La proporción de carbono y nitrógeno, en un órgano, se considera como un indicador de crecimiento y calidad. Esta relación se ve más afectada por el contenido de N en la planta, el cual puede ser muy variable, mientras el contenido de C tiene un valor más constante (Royer et al., 2013). En los resultados obtenidos en este estudio se observa que las plantas del tratamiento de AN presentaron un mayor contenido de N con respecto al tratamiento de BN. Este aumento, es porcentualmente mucho mayor que las diferencias encontradas en el contenido de C, donde apenas varía. Un aumento en el contenido de N con respecto al C permitió a las plantas de AN mayores niveles de biomasa, tal como lo indican otros estudios de tomate (Royer et al., 2013). Dentro de los tratamientos, se observa que en las plantas de AN, se correlaciona negativamente el contenido de N con el peso de las plantas, esto se puede deber a que la dosis de fertilizante nitrogenado haya favorecido una mayor tasa fotosintética, por lo que el porcentaje de N en la planta disminuye debido al alto carbono asimilado (Evans y Clarke, 2018).

La NUE está determinada por la NUpE y la NUtE, la variación de los valores de ambas eficiencias se debió principalmente al efecto del tratamiento, donde, se puede ver claramente, que la NUtE presenta un aumento significativo en todas las accesiones, aumentando sus valores bajo condiciones de BN con respecto a AN, contrario a esto, la NUpE, disminuyó sus valores. Esto demuestra que la capacidad de las plantas de crecer bajo condiciones limitadas de N se debe principalmente a la eficiencia de la utilización del N y no a la absorción del N, estos resultados se relacionan con los obtenidos por Abenavoli et al. (2016), donde los genotipos de tomate, con mayor NUE, presentaron una mayor expresión de genes transportadores de  $\text{NO}_3^-$  y, por lo tanto, un mayor NUtE.

Dentro de las accesiones, no se encuentran diferencias significativas en los valores de NUtE para AN, mientras que para condiciones de BN, los valores oscilan entre 73,0 y 106,6, y destacan 21 de las 30 accesiones con promedios más elevados, estas son: TRBA 0420, TRBA 0720, TRPO 0010, TRPO 0040, TRVA 2240, TRVI 0040, TRVI 0460, TRVI 1060, TRVI 1870, Ferum, Cervil, Levovil, Plovdiv, LA 1420, LA 0147, Criollo, SPR, Regina O., UC 82 y Piriddu, las cuales también presentan una alta NUE y PStot. Este listado incluye a todas las accesiones del Institut National de la Recherche Agronomique de Francia (población MAGIC) y todas las accesiones de la Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria de Italia, y excluyendo 9 accesiones del banco de germoplasma del Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana, 8 provenientes de España y 1

de Italia. Contrario a estas accesiones, TRCA 0570, que también se destaca en condiciones de BN, por tener un alto peso y NUE, esto se debe, a un mayor NUpE y no a una mayor NUtE.

Con respecto a la NUE, las accesiones en condiciones de BN, no demostraron, por lo general, diferencias significativas entre sus valores, donde solo se excluye la accesión TRVI 0130, que disminuyó su eficiencia en condiciones de BN, contrario a todas las demás accesiones. Por otro lado, en condiciones de AN, se destacan 12 accesiones que representan los valores promedios más altos de NUE, estas son: TRBA 0720, TRBA1580, TRBA1830, TRCA 0390, TRPO 0010, TRVA 1480, TRVA 2240, TRVI 0040, TRVI 0130, Levovil, LA 1420 y LA 0147.

De las 22 accesiones que logran buenos resultados en condiciones de BN, 15 no destacan en condiciones de AN (TRBA 0420, TRCA 0570 TRPO 0040, TRVA 2240, TRVI 0460, TRVI 1060, TRVI 1870, Ferum, Cervil, Plovdiv, Criollo, SPR, Regina O., UC 82 y Piriddu), mientras que de las 12 accesiones que destacan en AN, 6 no destacan en BN (TRBA1580, TRBA1830, TRCA 0390, TRVA 1480, TRVA 224, TRVI 0130). Esto demuestra la importancia de la interacción existente entre ambiente-accesión, Sin embargo, 6 accesiones se destacaron por ser las que tuvieron un mayor NUE en condiciones de AN y también en BN, estas son: TRBA 0720, TRPO 0010, TRVA 2240, TRVI 0040, Levovil, LA1420, LA 0147, las cuales son las más adecuadas para conseguir un alto peso de las plantas, independiente del nitrógeno aplicado.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, de las 30 accesiones evaluadas, se identificaron las 12 accesiones mejor adaptadas a condiciones de alto nitrógeno, por su alta eficiencia del uso del nitrógeno y 22 accesiones adaptadas a condiciones de bajo nitrógeno, 21 por su eficiencia del uso del nitrógeno y utilización del nitrógeno y 1 por su eficiencia del uso del nitrógeno y absorción del nitrógeno.

Los aportes de nitrógeno tienen un efecto en la producción de biomasa de las plantas, donde condiciones limitadas de nitrógeno generan un menor peso de la planta y de cada uno de sus órganos (tallo, hoja y raíz).

Una mayor cantidad de nitrógeno disponible para las plantas produce una mayor producción de clorofila y menor producción de flavonoides y antocianos, lo que se traduce a un mayor índice de nitrógeno. En condiciones de alto nitrógeno, las accesiones de mayor contenido de clorofila logran una mayor producción, mientras que, en condiciones de bajo nitrógeno, las accesiones de mayor contenido de flavonoides logran una mayor producción.

El contenido de nitrógeno de tallo, hoja y raíz disminuye en condiciones de bajo aporte de nitrógeno. De otra forma, el contenido de carbono en tallo y raíz aumenta y el de las hojas disminuye en condiciones de bajo aporte de nitrógeno.

## 7. REFERENCIAS

- Abenavoli, M. R., Longo, C., Lupini, A., Miller, A. J., Araniti, F., Mercati, F., Princi, M. P., & Sunseri, F. (2016). Phenotyping two tomato genotypes with different nitrogen use efficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 107, 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.04.021>
- Aci, M., Lupini, A., Mauceri, A., Sunseri, F., & Abenavoli, M. (2021). New insights into N-utilization efficiency in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under N limiting condition. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 634–644. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.046>
- Anas, M., Liao, F., Verma, K. K., Sarwar, M. A., Mahmood, A., Chen, Z. L., Li, Q., Zeng, X. P., Liu, Y., & Li, Y. R. (2020). Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biological Research*, 53(1). <https://doi.org/10.1186/s40659-020-00312-4>
- Bauchet, G., & Causse, M. (2012). Genetic Diversity in Tomato (*Solanum lycopersicum*) and Its Wild Relatives. *Genetic Diversity in Plants*. Published. <https://doi.org/10.5772/33073>
- Bibi, S., Saifullah, Naeem, A., & Dahlawi, S. (2016). Environmental Impacts of Nitrogen Use in Agriculture, Nitrate Leaching and Mitigation Strategies. *Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives*, 131–157. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-34451-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-34451-5_6)
- Bvenura, Callistus & Afolayan, Anthony. (2014). Growth and physiological response of *Solanum nigrum* L. to organic and/or inorganic fertilisers. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 87. 168-174. 10.5073/JABFQ.2014.087.024.
- Cajamar. (2021). Publicaciones Cajamar. <https://publicacionescajamar.es/series-tematicas/pagina/1>
- Campanelli, G., Sestili, S., Acciarri, N., Montemurro, F., Palma, D., Leteo, F., & Beretta, M. (2019). Multi-Parental Advances Generation Inter-Cross Population, to Develop Organic Tomato Genotypes by Participatory Plant Breeding. *Agronomy*, 9(3), 119. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030119>
- Capobianco-Uriarte, M. D. L. M., Aparicio, J., De Pablo-Valenciano, J., & Casado-Belmonte, M. D. P. (2021). The European tomato market. An approach by export competitiveness maps. *PLOS ONE*, 16(5), e0250867. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250867>
- Casals, J., Pascual, L., Cañizares, J., Cebolla-Cornejo, J., Casañas, F., & Nuez, F. (2011). Genetic basis of long shelf life and variability into Penjar tomato. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(2), 219–229. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9677-6>

- Causse, M., Desplat, N., Pascual, L., Le Paslier, M. C., Sauvage, C., Bauchet, G., Bérard, A., Bounon, R., Tchoumakov, M., Brunel, D., & Bouchet, J. P. (2013). Whole genome resequencing in tomato reveals variation associated with introgression and breeding events. *BMC Genomics*, 14(1), 791. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-791>
- Cerovic, Z.G., Cartelat, A., Goulas, Y., Meyer, S., 2005. In-field assessment of wheat-leaf polyphenolics using the new optical leaf-clip Dualex. *Prec. Agric.* 5, 243–250.
- Conant, R. T., Berdanier, A. B., & Grace, P. R. (2013). Patterns and trends in nitrogen use and nitrogen recovery efficiency in world agriculture. *Global Biogeochemical Cycles*, 27(2), 558–566. <https://doi.org/10.1002/gbc.20053>
- Cortés-Olmos, C., Valcárcel, J. V., Roselló, J., Díez, M. J., & Cebolla-Cornejo, J. (2015). Traditional Eastern Spanish varieties of tomato. *Scientia Agricola*, 72(5), 420–431. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0322>
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada & C.W. Robledo. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Du, Y. D., Zhang, Q., Cui, B. J., Sun, J., Wang, Z., Ma, L. H., & Niu, W. Q. (2020). Aerated irrigation improves tomato yield and nitrogen use efficiency while reducing nitrogen application rate. *Agricultural Water Management*, 235, 106152. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106152>
- Dualex*. (2019, 9 octubre). Force A. <https://www.force-a.com/products/dualex>
- Evans, J. R., & Clarke, V. C. (2018). The nitrogen cost of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 70(1), 7–15. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery366>
- FAOSTAT. (s. f.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado 10 de mayo de 2021, de <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Gazulla, M. F., Rodrigo, M., Orduña, M., & Gómez, C. M. (2012). Determination of Carbon, Hydrogen, Nitrogen and Sulfur in Geological Materials Using Elemental Analysers. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 36(2), 201–217. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908x.2011.00140.x>
- Galluzzi, G., Seyoum, A., Halewood, M., López Noriega, I., & Welch, E. W. (2020). The Role of Genetic Resources in Breeding for Climate Change: The Case of Public Breeding Programmes in Eighteen Developing Countries. *Plants*, 9(9), 1129. <https://doi.org/10.3390/plants9091129>

- Gonzaga, N., Gonzaga, A., Pepito, S., Octavio, R., & Harper, S. (2021). Growth, yield and postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) as influenced by different rates of nitrogen fertilizer. *Acta Horticulturae*, 1312, 329–336.  
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2021.1312.48>
- Huang, B. E., Verbyla, K. L., Verbyla, A. P., Raghavan, C., Singh, V. K., Gaur, P., Leung, H., Varshney, R. K., & Cavanagh, C. R. (2015). MAGIC populations in crops: current status and future prospects. *Theoretical and Applied Genetics*, 128(6), 999–1017.  
<https://doi.org/10.1007/s00122-015-2506-0>
- Kashem, M. A., Sarker, A., Hossain, I., & Islam, M. S. (2015). Comparison of the Effect of Vermicompost and Inorganic Fertilizers on Vegetative Growth and Fruit Production of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Open Journal of Soil Science*, 05(02), 53–58.  
<https://doi.org/10.4236/ojss.2015.52006>
- Khalofah, A., Khan, M. I., Arif, M., Hussain, A., Ullah, R., Irfan, M., Mahpara, S., Shah, R. U., Ansari, M. J., Kintl, A., Brtnicky, M., Danish, S., & Datta, R. (2021). Deep placement of nitrogen fertilizer improves yield, nitrogen use efficiency and economic returns of transplanted fine rice. *PLOS ONE*, 16(2), e0247529.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247529>
- Kizilgeci, F., Yildirim, M., Islam, M. S., Ratnasekera, D., Iqbal, M. A., & Sabagh, A. E. (2021). Normalized Difference Vegetation Index and Chlorophyll Content for Precision Nitrogen Management in Durum Wheat Cultivars under Semi-Arid Conditions. *Sustainability*, 13(7), 3725. <https://doi.org/10.3390/su13073725>
- Knapp S., Peralta I.E. (2016) The Tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) and Its Botanical Relatives. In: Causse M., Giovannoni J., Bouzayen M., Zouine M. (eds) The Tomato Genome. Compendium of Plant Genomes. *Springer*, Berlin, Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-662-53389-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53389-5_2)
- Kulus, D. (2018). Genetic Resources and Selected Conservation Methods of Tomato. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91, 135-144.  
<https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.019>
- Lammerts van Bueren, E. T., & Struik, P. C. (2017). Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5).  
<https://doi.org/10.1007/s13593-017-0457-3>
- Li, Z., Jiang, H., Qin, Y., Yan, H., Jiang, X., & Qin, Y. (2021). Nitrogen deficiency maintains the yield and improves the antioxidant activity of *Coreopsis tinctoria* Nutt. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 85(6), 1492–1505. <https://doi.org/10.1093/bbb/zbab048>

- Meng, C., Tian, D., Zeng, H., Li, Z., Yi, C., & Niu, S. (2019). Global soil acidification impacts on belowground processes. *Environmental Research Letters*, 14(7), 074003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab239c>
- Meza, S. L. R., Egea, I., Massaretto, I. L., Morales, B., Purgatto, E., Egea-Fernández, J. M., Bolarin, M. C., & Flores, F. B. (2020). Traditional Tomato Varieties Improve Fruit Quality Without Affecting Fruit Yield Under Moderate Salt Stress. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.587754>
- Milagres, C. D. C., Fontes, P. C. R., Silveira, M. V. D., Moreira, M. A., & Lopes, I. P. D. C. (2018). Índices de nitrogênio e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata. *Revista Ceres*, 65(3), 261–270. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865030006>
- Ming, T., de\_Richter, R., Shen, S., & Caillol, S. (2016). Fighting global warming by greenhouse gas removal: destroying atmospheric nitrous oxide thanks to synergies between two breakthrough technologies. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7), 6119–6138. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6103-9>
- Nguefack, U., Mewouo, Y. C. M., Lekagne, J. B. D., Djoufack, M. M., Fotio, D., Daboy, C. D., & Fouelefack, F. R. (2020). Nitrogen Use Efficiency (NUE) in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings in response to treatment with extract of *Cymbopogon citratus* and mineralization of *Tithonia diversifolia* leaves and cow dung. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 5(4), 916–927. <https://doi.org/10.22161/ijeab.54.11>
- Pascual, L., Desplat, N., Huang, B. E., Desgroux, A., Bruguier, L., Bouchet, J. P., Le, Q. H., Chauchard, B., Verschave, P., & Causse, M. (2014). Potential of a tomato MAGIC population to decipher the genetic control of quantitative traits and detect causal variants in the resequencing era. *Plant Biotechnology Journal*, 13(4), 565–577. <https://doi.org/10.1111/pbi.12282>
- Prakash, S., & Srivastava, S. (2019). Impact of Climate Change on Biodiversity: An Overview. *International Journal of Biological Innovations*, 01(02), 60–65. <https://doi.org/10.46505/ijbi.2019.1205>
- Ranjan, R., & Yadav, R. (2019). Targeting nitrogen use efficiency for sustained production of cereal crops. *Journal of Plant Nutrition*, 42(9), 1086–1113. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1589497>
- Reynolds, M., Chapman, S., Crespo-Herrera, L., Molero, G., Mondal, S., Pequeno, D. N., Pinto, F., Pinera-Chavez, F. J., Poland, J., Rivera-Amado, C., Saint Pierre, C., & Sukumaran, S. (2020). Breeder friendly phenotyping. *Plant Science*, 295, 110396. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110396>

- Ronga, D., Rizza, F., Badeck, F. W., Milc, J., Laviano, L., Montevecchi, G., Pecchioni, N., & Francia, E. (2018). Physiological responses to chilling in cultivars of processing tomato released and cultivated over the past decades in Southern Europe. *Scientia Horticulturae*, 231, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.033>
- Rosa-Martínez, E., Adalid, A. M., Alvarado, L. E., Burguet, R., García-Martínez, M. D., Pereira-Dias, L., Casanova, C., Soler, E., Figàs, M. R., Plazas, M., Prohens, J., & Soler, S. (2021). Variation for Composition and Quality in a Collection of the Resilient Mediterranean ‘de penjar’ Long Shelf-Life Tomato Under High and Low N Fertilization Levels. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.633957>
- Royer, M., Larbat, R., le Bot, J., Adamowicz, S., & Robin, C. (2013). Is the C:N ratio a reliable indicator of C allocation to primary and defence-related metabolisms in tomato? *Phytochemistry*, 88, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.12.003>
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Sainju, U., Ghimire, R., & P. Pradhan, G. (2020). Nitrogen Fertilization I: Impact on Crop, Soil, and Environment. Nitrogen Fixation. Published. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86028>
- Samuels, J. (2015). Biodiversity of Food Species of the Solanaceae Family: A Preliminary Taxonomic Inventory of Subfamily Solanoideae. *Resources*, 4(2), 277–322. <https://doi.org/10.3390/resources4020277>
- Santos, I. C. D., gaion, I. A., prado, r. M., barreto, r. F., & carvalho, r. F. (2020). Low auxin sensitivity of diageotropica tomato mutant alters nitrogen deficiency response. *Anais da academia brasileira de ciências*, 92(3). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190254>
- Schreinemachers, P., Simmons, E. B., & Wopereis, M. C. (2018). Tapping the economic and nutritional power of vegetables. *Global Food Security*, 16, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.09.005>
- Schroder, J. L., Zhang, H., Girma, K., Raun, W. R., Penn, C. J., & Payton, M. E. (2011). Soil Acidification from Long-Term Use of Nitrogen Fertilizers on Winter Wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 75(3), 957–964. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0187>
- Singh, M., Gujjar, R., Karkute, S., Prasanna, H., Tiwari, S. K. (2016). Biology of Solanum lycopersicum (Tomato).
- Skudra, I., & Ruza, A. (2017). Effect of Nitrogen and Sulphur Fertilization on Chlorophyll Content in Winter Wheat. *Rural Sustainability Research*, 37(332), 29–37. <https://doi.org/10.1515/plua-2017-0004>

- Sosulski, T., Stępień, W., Wąs, A., & Szymańska, M. (2020). N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> Emissions from Bare Soil: Effect of Fertilizer Management. *Agriculture*, 10(12), 602. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120602>
- Stewart, W., & Roberts, T. (2012). Food Security and the Role of Fertilizer in Supporting it. *Procedia Engineering*, 46, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.448>
- Sun, L., Chen, J., Xiao, K., & Yang, W. (2017). Origin of the Domesticated Horticultural Species and Molecular Bases of Fruit Shape and Size Changes during the Domestication, Taking Tomato as an Example. *Horticultural Plant Journal*, 3(3), 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.007>
- Swaminathan, M. S., & Kesavan, P. C. (2012). Agricultural Research in an Era of Climate Change. *Agricultural Research*, 1(1), 3–11. <https://doi.org/10.1007/s40003-011-0009-z>
- Szymański, J., Bocobza, S., Panda, S., Sonawane, P., Cárdenas, P. D., Lashbrooke, J., Kamble, A., Shahaf, N., Meir, S., Bovy, A., Beekwilder, J., Tikunov, Y., Romero de la Fuente, I., Zamir, D., Rogachev, I., & Aharoni, A. (2020). Analysis of wild tomato introgression lines elucidates the genetic basis of transcriptome and metabolome variation underlying fruit traits and pathogen response. *Nature Genetics*, 52(10), 1111–1121. <https://doi.org/10.1038/s41588-020-0690-6>
- Tian, D., & Niu, S. (2015). A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. *Environmental Research Letters*, 10(2), 024019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024019>
- Zhang, K., Liu, X., Ma, Y., Zhang, R., Cao, Q., Zhu, Y., Cao, W., & Tian, Y. (2019). A Comparative Assessment of Measures of Leaf Nitrogen in Rice Using Two Leaf-Clip Meters. *Sensors*, 20(1), 175. <https://doi.org/10.3390/s20010175>