

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Ambiente y Desarrollo**  
**Ingeniería en Ambiente y Desarrollo**



Proyecto Especial de Graduación

**Viabilidad agronómica de la extracción de follaje de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y dos tipos de fertilización para dietas saludables en la Finca Agroecológica de Zamorano**

Estudiante

Andrea Fernanda Arévalo Alvarenga

Asesores

Josué Anibal León, Mtr.

Moisés Enrique Castellanos, M.Sc.

Iveth Yassmin Rodríguez, M.Sc.

Honduras, agosto2021

**Autoridades**

**TANYA MÜLLER GARCÍA**

Rectora

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ERIKA TENORIO MONCADA**

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

### **Agradecimientos**

Este proyecto fue posible gracias al financiamiento del Proyecto fortalecimiento de la gestión universitaria frente al Cambio Climático y la reducción de riesgo ante desastres de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Agradezco a mis asesores que brindaron su conocimiento y asesoría técnica en todo momento. Al Sr. Irvin Díaz por su trabajo con el manejo agronómico del cultivo debido a la situación de Pandemia. Al Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano y a su encargado Luis Fernando Maldonado, Ph.D. por su asistencia en los análisis de laboratorio.

## Contenido

Agradecimientos .....	3
Contenido.....	4
Índice de Cuadros.....	6
Índice de Figuras .....	7
Índice de Anexos.....	8
Resumen .....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Materiales y métodos .....	13
Ubicación del Estudio.....	13
Diseño Experimental .....	13
Preparación de Sitio.....	14
Fertilización .....	15
Compost.....	15
Manejo Agronómico .....	16
Corte de Hoja .....	16
Análisis Nutricionales y Fitoquímicos en Laboratorio.....	16
Humedad y Cenizas en Hoja .....	17
Molienda y Homogenización .....	18

	5
Análisis de Proteína Cruda .....	18
Análisis de Grasa Cruda.....	18
Polifenoles Totales .....	19
Capacidad Antioxidante .....	20
Análisis de Rendimiento.....	20
Análisis Estadístico .....	21
Resultados y Discusión.....	22
Extracción de Hoja y Rendimiento del Cultivo de Frijol.....	22
Rendimiento del Cultivo según Tipo de Fertilización.....	23
Aporte Nutricional de Grano y Hoja .....	24
Diferencia Estadística entre Tratamientos en Hoja .....	27
Conclusiones .....	31
Recomendaciones.....	32
Referencias.....	33
Anexos.....	38

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Rendimiento en grano por variedad .....	23
Cuadro 2 Rendimiento en grano por fertilización .....	24
Cuadro 3 Análisis nutricional en grano de cuatro variedades de frijol.....	25
Cuadro 4 Análisis nutricional en hoja de cuatro variedades de frijol bajo fertilización con compost..	26
Cuadro 5 Análisis nutricional en hoja de cuatro variedades de frijol bajo fertilización química.....	27
Cuadro 6 Análisis de grasa bifactorial en hoja de cuatro variedades de frijol.....	28
Cuadro 7 Separación de medias para tipo de fertilización en análisis de grasa y polifenoles totales .	29
Cuadro 8 Separación de medias en polifenoles totales en hoja de cuatro variedades de frijol .....	30

### Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación del estudio en Finca Agroecológica Zamorano .....	13
Figura 2 Diseño del ensayo .....	14

## Índice de Anexos

Anexo A Análisis de suelo previo al establecimiento del cultivo .....	38
Anexo B Análisis de compost en diferentes etapas .....	39
Anexo C Información complementaria de rendimiento .....	40
Anexo D Análisis nutricional base seca con fertilización por compost.....	41
Anexo E Análisis nutricional base seca con fertilización química .....	42
Anexo F Resultados de (Oyelude et al., 2012) en base seca.....	43
Anexo G Parámetros de crecimiento parcela con corte de hoja .....	44
Anexo H Parámetros de crecimiento parcela sin corte de hoja .....	45
Anexo I Parámetros de crecimiento por tipo de fertilización.....	46
Anexo J Etapa reproductiva del cultivo.....	47

## Resumen

El mejoramiento de las prácticas de agricultura de subsistencia y dietas saludables aporta al logro de 3 de los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible. El estudio se realizó en la finca Agroecológica Zamorano, Honduras donde se evaluó comparativamente el rendimiento, componentes nutricionales y polifenoles de cuatro variedades mejoradas de frijol utilizando compostaje y fertilizantes químicos. Se estableció un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo de parcelas divididas para identificar el efecto agronómico de cosechar hoja en tres momentos, prefloración, durante y después de floración en cuatro variedades mejoradas de frijol común utilizando dos métodos de fertilización. Posteriormente, se midió el impacto de estos tratamientos y sus interacciones en el rendimiento de grano. El estudio fue complementado con un análisis nutricional comparativo de humedad, proteína, grasa, cenizas, polifenoles totales y capacidad antioxidante, para grano, y las interacciones de las fuentes de variación para los mismos análisis de composición nutricional en las hojas de las variedades de frijol. Los análisis estadísticos utilizados fueron análisis de varianza (ANDEVA) y diferencia menos significativa para separación de media (LSD Fisher) con valor  $P < 0.05$ . La cosecha de hoja no tuvo efecto en el rendimiento del grano. El mejor tipo de fertilización para rendimiento fue compost y en términos de nutrición y fitoquímicos fue químico. La mejor variedad en rendimiento fue Amadeus 77, en nutrición hubo diferencia significativa en tres análisis, en grasa fue la interacción Rojo Chortí y fertilización química, cenizas Rojo Chortí y Amadeus 77 y polifenoles totales SEF 70.

*Palabras clave: Compost, nutrición, objetivos de desarrollo sostenible, polifenoles, rendimiento.*

### Abstract

The improvement in smallholder's agricultural techniques supports the achievement of 3 of 17 of the Sustainable Development Goals. The study compares yield, nutritional components, and polyphenolic content in four bean improved varieties chemical fertilized and with composting. The assay was established in the Zamorano Agroecological Farm, Honduras. Using a randomized plot arrangement, common bean assay was established to identify the agronomic impact of the leaf harvesting in three moments, while and after blooming (29 days) in four bean varieties testing two different fertilizers. Afterwards, the effect of these treatments and their interactions in bean yield were measured. The complimentary information of the study consists of a comparative nutritional analysis of moisture, protein, fat, ashes, polyphenols, and antioxidant activity in grains. Moreover, the measurement of the interactions between the variations of the treatments sampling the same nutritional aspects for leaf statistical analysis. Ran ANOVA and LSD Fisher with p-value < 0.05 as its statistical analysis. Yield was not affected by the leaf harvesting. The compost fertilizer was the best treatment to the yield, and chemical was the best for the nutritional composition. The chemical fertilizer had the best phytochemical and nutritional performance, whereas compost had the peak in yield. Amadeus 77 had the best yield performance, SEF 70 had the greatest polyphenolic amount, while in nutritional aspects and antioxidant capacity it was not clear the best variety.

*Keywords: Compost, nutrition, polyphenols, sustainable development goals, yield.*

## Introducción

La población de Latinoamérica que vive con inseguridad alimentaria moderada, alcanzando los 203.7 millones de personas en el año 2019 y la población en condiciones de inseguridad alimentaria severa fue de 60.1 millones de personas en el año 2019 (FAO et al., 2020). En el año 2017, el consumo mundial de frijol fue de 3.57 kg per cápita, adicionalmente, en 2018 tuvo un declive de 2.1% en consumo per cápita mundial, consecuente a la baja producción y el aumento en la población mundial en ese año (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2020). En respuesta a los problemas de producción, seguridad alimentaria y economía de los pequeños agricultores se ha realizado un esfuerzo científico regional para el desarrollo de variedades mejoradas (J. C. Rosas et al., 2004)

El maíz y el frijol tienen importancia cultural y económica y son la base de la dieta de Centroamérica (Mateo, 2014). La importancia del frijol en la región justifica la importancia de mantener la diversidad de semilla y promover el uso de variedades mejoradas. Es necesario determinar el mejor manejo agronómico a través del método de fertilización y las variedades con mayor rendimiento y aporte nutricional a las dietas de las familias centroamericanas.

Algunas leguminosas se consumen como hortalizas en tiempos de hambruna, y son seguras para consumo humano si se prepararan apropiadamente (Barrett, 1990). Las hojas de algunos tipos de frijoles se utilizan cocidas y frescas en platos de muchas culturas. Las hojas de frijol se constituyen como un subproducto alimenticio. El frijol en grano y en hoja es rico en nutrientes, y posee propiedades que benefician a la salud humana en general (Gálvez Ranilla et al., 2007).

Está comprobado que el ambiente influye directamente las reservas de metabolitos secundarios en las plantas, y el estrés provocado a lo largo del ciclo productivo afecta la potencial síntesis y acumulación de estas sustancias (Etemadi et al., 2018). El aporte de nutrientes a través de los fertilizantes tiene un impacto en la composición química de los cultivos. Es importante para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de ciudades y comunidades sostenibles, Salud y

bienestar, y Hambre cero, identificar las mejores prácticas y variedades de frijol que presenten los mejores rendimientos, y aporte nutricional de los alimentos cultivados por los pequeños productores.

La Pandemia de COVID-19 evidenció los problemas de salud y el correcto funcionamiento de la población en general por lo que desde que empezó la Pandemia se han realizados investigaciones del papel de los factores nutricionales en la respuesta inmunológica al virus (Galmés et al., 2020). La susceptibilidad a complicaciones, recuperación y efectos de enfermedades preexistentes durante la Pandemia de COVID-19 es mayor en dietas poco saludables y en poblaciones vulnerables (Butler y Barrientos, 2020). Es necesario realizar esfuerzos para alcanzar el óptimo estado de nutrición de las personas para mejorar su sistema inmune para afrontar el COVID-19 (Galmés et al., 2020).

Este estudio tiene como objetivo principal, evaluar el efecto agronómico de la extracción de follaje para consumo humano en el rendimiento de cuatro variedades de frijol y dos tipos de fertilización. Como objetivos específicos se propuso, evaluar el rendimiento de cuatro variedades de frijol con fertilización química y compost, después de realizar tres cortes de hoja para consumo humano e identificar el aporte de algunos componentes nutricionales y fitoquímicos en grano y hoja.

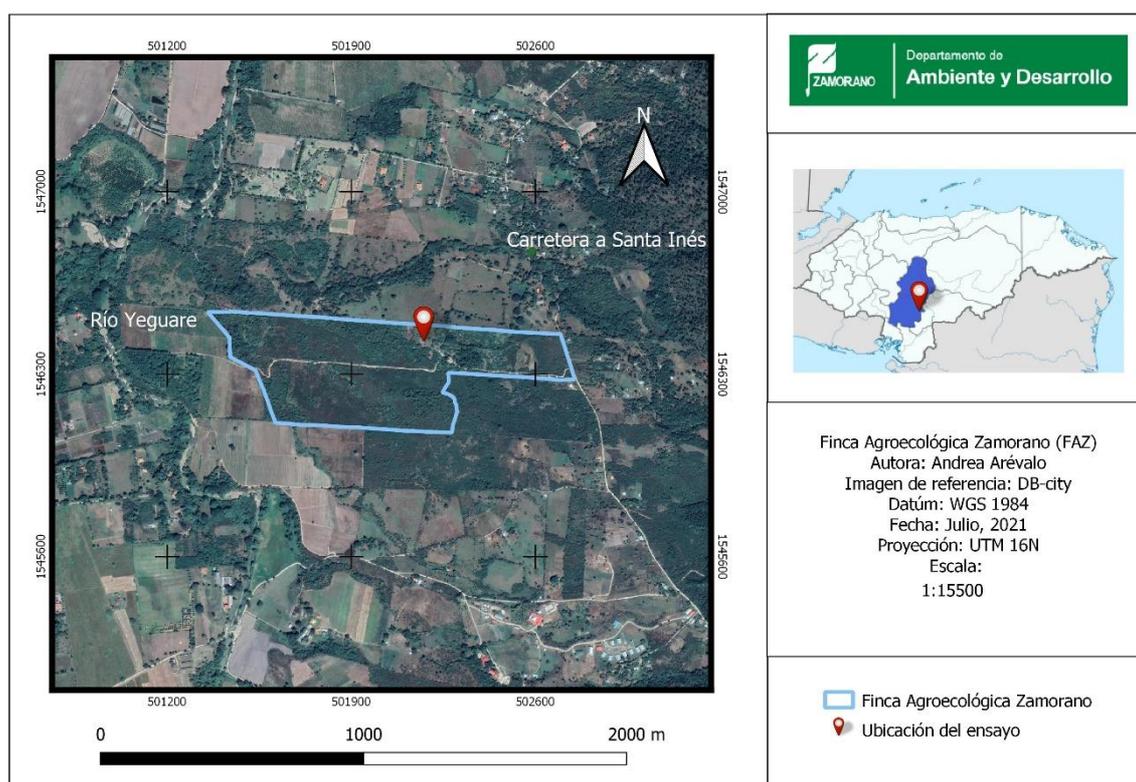
## Materiales y métodos

### Ubicación del Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Finca Agroecológica de Zamorano, municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras (Figura 1). Esta se localiza a una altitud de 760 a 810 msnm, temperatura promedio de 24 °C y 1,100 mm de precipitación promedio anual. Las coordenadas de la parcela son 13.98845° latitud y 111.020019° longitud. El área total del experimento fue de 367.2 m<sup>2</sup>, con 34 m de largo por 10.8 m de ancho.

### Figura 1

*Ubicación del estudio en Finca Agroecológica Zamorano*



### Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo de parcelas divididas (DPD). Se utilizó el programa de “Infostat” versión 2019 para aleatorizar las

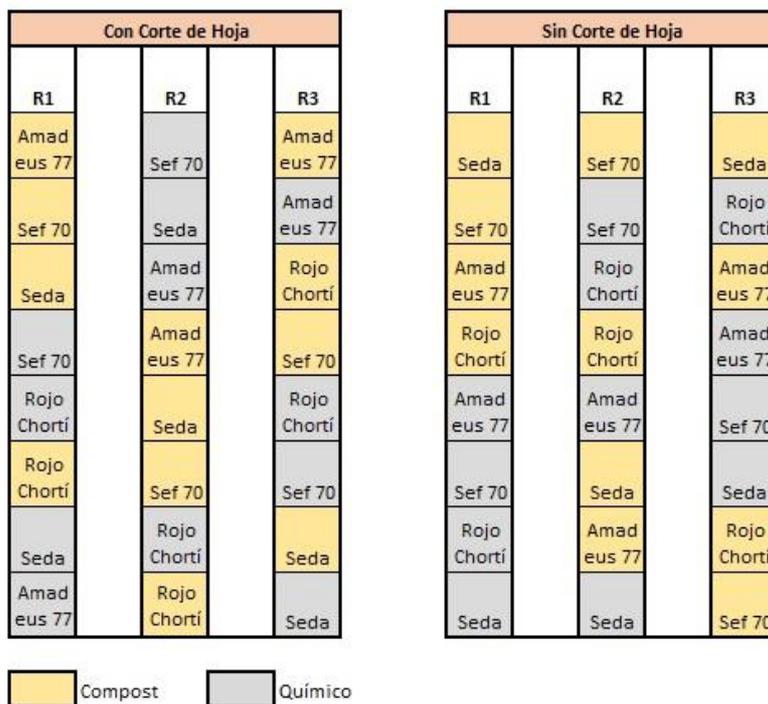
unidades experimentales. Las parcelas principales fueron con corte y sin corte de hoja y la subparcela fertilización química o compost. Se estableció una distribución interna multifactorial con tres repeticiones según el tipo de fertilización y las cuatro variedades de frijol: Seda, Rojo Chortí, Amadeus 77 y SEF 70 (Figura 2).

**Preparación de Sitio**

El cultivo de frijol se estableció con rotación de maíz, dejando la biomasa del maíz como cobertura e implementando labranza mínima como práctica de agricultura de conservación de suelo. El ensayo se estableció en época seca, por lo que, se utilizó riego por goteo. Cada unidad experimental tuvo un tamaño de dos metros de largo por dos metros de ancho con una distribución de cinco hileras separadas a 60 cm a una densidad de siembra de 16 plantas por hilera con 10 cm de distancia por postura.

**Figura 2**

*Diseño del ensayo*



## **Fertilización**

Se realizó un análisis completo de suelo en el Laboratorio de suelos de Zamorano de una muestra integrada del área del experimento. Para estimar la necesidad de nutrientes mediante fertilización se consideró el aporte del suelo, el cual reporta limitaciones en Nitrógeno (N) y Fósforo (P) y alto en Potasio (K) (Anexo A). Los requerimientos nutricionales del cultivo de frijol para realizar el cálculo (Bertsch Hernández, 2009) tomaron consideraciones para la dosis en cuánto al factor de ajuste de N, P y K. Se determinó aplicar el 70% del requerimiento total de N considerando la fijación de N atmosférico del cultivo debido a que es leguminosa y sus raíces hacen simbiosis con *Rhizobium* (Ventura Elías et al., 2018). La fertilización se calculó para un rendimiento de 2.5 Ton/ha, utilizando el N como factor limitante para evitar intoxicación a la planta. La fertilización química se aplicó en una sola dosis a los 21 días después de siembra a razón de 4.6 qq/ha de fertilizante 12-24-12, y 4.8 qq/ha de Urea.

## **Compost**

El compost utilizado fue elaborado tres meses previo a la siembra utilizando subproductos de cultivo de maíz (olote semi descompuesto) y estiércol bovino. Se adicionaron Microorganismos de Montaña líquidos para acelerar el proceso de descomposición. Se realizó un análisis de Carbono (C) y N y la relación C/N previo a la mezcla del olote y estiércol por separado para formular la proporción de cada insumo utilizando la fórmula de la Universidad de Cornell (1996). La metodología utilizada para la elaboración del compost fue la propuesta por Román et al. (2015). Se realizaron dos muestreos preliminares analizados por el laboratorio de suelos de Zamorano para control de los parámetros del compost (Anexo B). Una vez el compost se estabilizó alcanzando la proporción 15/1 de C/N se realizó un análisis completo de nutrientes para el cálculo de fertilización tomando en cuenta el análisis de suelo del ensayo y los requerimientos del cultivo. La dosis de compost fue de 37.3 Ton/ha fraccionado en dos aplicaciones, la primera 10 días antes de siembra incorporado al suelo, y la segunda a los 21

días después de siembra con aporque en cada planta. Se complementó ambos tipos de fertilización con tres aplicaciones de fertilizante foliar “Bayfolan® Forte”, a los 9, 15 y 22 días después de siembra en ambas parcelas del ensayo.

### **Manejo Agronómico**

En etapa vegetativa del cultivo, el desmalezado fue manual, se aporcó a los 15 días después de siembra (DDS) para dar aireación al suelo, después de los 20 DDS el desmalezado se realizó con azadón. Se hizo aplicación de preventivos químicos y se trató plaga de mosca blanca con los agroquímicos KARATE® ZEON 5 CS (Insecticida), Cipermitrina, y FLONEX 40 SC (Funguicida), a los 9, 15, 22, 26, 33 y 44 DDS.

### **Corte de Hoja**

La cosecha de hoja de la parcela con corte de hoja se realizó en tres momentos: Inicio de floración (29 DDS), post floración (43 DDS) y llenado de vainas (50 DDS). Se cosechó 120 gr de hoja en campo por cada unidad experimental, utilizando la primera cosecha como muestra para los análisis en laboratorio. Cada hoja extraída en campo tuvo un peso promedio de 0.8 g en la primera extracción. En función a los datos obtenidos por Morales Rosales et al. (2008), para cantidad de hojas verdes en *Phaseolus vulgaris*, se extrajo el 16% de hojas verdes en cada parcela en la primera cosecha. A partir de la segunda cosecha de hoja, las hojas pesaron en promedio en campo 1 g, y se cosecharon 260 g de cada parcela, en esta etapa esa cantidad representó el 18%, y en la tercera cosecha 260 g representó el 14% de hojas verdes de la parcela. Se utilizó el tamaño de porción a consumir sugerido para ensaladas con hojas verdes del RTCA, (2012).

### **Análisis Nutricionales y Fitoquímicos en Laboratorio**

Todos los análisis nutricionales de las hojas y granos para las cuatro variedades de frijol se realizaron en el Laboratorio de Alimentos de Zamorano (LAAZ). Las muestras de grano de las cuatro variedades utilizadas para los análisis fueron tomadas del banco de germoplasma de la Unidad de

Investigación y Desarrollo de Cultivos (UIDC) de Zamorano para ser analizadas nutricionalmente. Los granos fueron evaluados en el equipo (GAC 500 XT) para determinar el porcentaje de humedad al que se recibieron. Los granos se secaron en hornos de convección hasta ser llevados al 4 o 6% de humedad para molienda. Posteriormente, fueron homogenizados y triturados en un molino (Laboratory Mill 3310) para ser evaluados.

### **Humedad y Cenizas en Hoja**

Para el análisis de humedad de las hojas, se utilizó el método AOAC (2006). Se pesó en una balanza analítica (OHAUS AX224/E) cada uno de los crisoles a utilizar y posteriormente  $3 \pm 0.0050$  g de muestra húmeda de hoja de todos los tratamientos de frijol. Las muestras fueron colocadas en los crisoles para luego trasladarlas a un horno de convección a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 18 horas. Posteriormente, fueron colocadas en desecadores con silicagel por 1 hora a temperatura ambiente. Los crisoles aclimatados se pesaron y se anotó el peso final. El porcentaje de humedad fue obtenido utilizando la ecuación:

$$\%Humedad = \frac{\text{peso de crisol} + \text{peso de la muestra húmeda} - (\text{crisol} + \text{muestra seca})}{\text{peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

El análisis de ceniza se realizó mediante el método AOAC (2005) con la misma muestra posterior al análisis de humedad. Las muestras se sometieron a una mufla (SYBRON Thermolyne) a una temperatura de  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 12 horas hasta obtener cenizas, los crisoles se enfriaron en un desecador con silicagel por aproximadamente 6 horas a temperatura ambiente. Una vez fríos, se pesaron los crisoles y se calculó el porcentaje de ceniza mediante la siguiente ecuación:

$$\%Cenizas = \frac{\text{crisol} + \text{cenizas} - \text{peso del crisol}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

## Molienda y Homogenización

Las 24 muestras de hoja colectadas en campo de la parcela con corte de hoja fueron sometidas a 24 horas de secado en un horno de convección a 65 °C, para luego ser molidas y homogenizadas en un molino (CT 193 Cyclotec) y en base seca realizar los análisis de proteína cruda, grasa cruda, polifenoles totales y actividad antioxidante.

## Análisis de Proteína Cruda

Para el análisis de proteína cruda en hoja y grano se utilizaron muestras secas, molidas y homogenizadas empleando el método AOAC (2001). Se pesó  $1 \pm 0.0050$  g de cada muestra en una balanza analítica (OHAUS AX224/E), se envolvieron con papel parafina y se colocaron en tubos Kjeltec. Posteriormente, se agregaron dos tabletas de catálisis Kjeltec y se añadieron 12 ml de Ácido sulfúrico. Luego se inició la digestión en el digestor (Tecator™ D 20). Después de la digestión se llevó al destilador (Kjeltec 8200) y se extrajo la muestra en una solución con 80 ml de agua, 50 ml de Hidróxido de sodio al 40% y 30 ml de Ácido bórico en un Erlenmeyer de 300 ml. Finalmente, se tituló la solución en el Erlenmeyer con Ácido clorhídrico al 0.1 N utilizando una bureta de 50 ml mientras se agitaba en un agitador magnético (Thermo Scientific CIMAREC) hasta obtener un viraje de color violeta claro. Para el cálculo de proteína se utilizó el gasto de Ácido clorhídrico (HCL) en la fórmula para obtener %N:

$$\%N = \left[ \frac{(\text{ml de HCl de la muestra} - \text{ml del Blanco}) \times \text{Concentración de HCl} \times \text{peso atómico del N}}{10 \times \text{peso de la muestra}} \right]$$

$$\%Proteína = \%N \times \text{Factor de conversión} \left[ \frac{NH_2}{N} \right]$$

## Análisis de Grasa Cruda

Se empleó el método de AOAC (2000) para la determinación de grasa cruda en las muestras de hoja y grano. Se pesaron  $2 \pm 0.0050$  g de Celite 545 en una balanza analítica (OHAUS AX224/E) y se colocaron en dedales de celulosa, posteriormente, se añadió  $3 \pm 0.0050$  g de muestra seca y se cubrió

con algodón de grado médico. Se tomó el peso inicial de las tazas de extracción a utilizar en el equipo (Soxtec 2050 Automatic system) y se agregó 80 ml de hexano a cada una de las muestras en los dedales con las tazas dentro del equipo.

Se estableció la extracción por ebullición, reflujo, recuperación y pre secado del solvente. Las tazas de extracción se calentaron en un horno de convección a 105 °C por 30 minutos y se enfriaron por 30 minutos a temperatura ambiente en desecadores con silicagel para obtener el peso final con el extracto. El porcentaje de grasa cruda se determinó con la siguiente ecuación:

$$\%Grasa\ cruda = \frac{\text{peso final de la taza} - \text{peso inicial de la taza}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

### **Polifenoles Totales**

Se realizó el análisis de Polifenoles totales adaptado de Suazo Mercado (2012) y García et al. (2015) con una curva estándar de ajuste a modelo lineal con coeficiente de determinación de R<sup>2</sup> 0.9998 de concentraciones de Ácido gálico conocidas. Se pesó 1 ± 0.0050 g de cada muestra molida y homogenizada en una balanza analítica (OHAUS AX224/E), se colocó en tubos para centrifuga y se aforó hasta 50 ml con solvente metanol al 80%. Posteriormente, se utilizó el equipo (WB 1024 Water bath de Tecator Line) para realizar un baño María a 50 °C con agitación automática por 2 horas. A continuación, se enfriaron las muestras a temperatura ambiente y se filtraron individualmente. Se tomó 1 ml de muestra y se adicionó 2.5 ml del reactivo Folin Ciocalteu al 0.5 N y se agitó en un Vortex (Fisherbrand) a 2,500 revoluciones por minuto (RPM) por 30 segundos y se dejó reposar 5 minutos, luego se añadió 10 ml de carbonato de sodio al 1 N, se agitó en el mismo Vortex y se dejó reposar por 6 minutos. Finalmente, se enrazó utilizando el solvente de metanol al 80% hasta 25 ml, se agitó en el Vortex y se dejó reposar por 30 minutos a temperatura ambiente. Se utilizó 2 ml de cada muestra para tomar la lectura en un espectrofotómetro de luz Ultravioleta (UV) visible (Agilent Technologies Cary

8454 Vic Au) a una longitud de onda de 765 nanómetros y comparar los resultados con la curva estándar. Las fórmulas utilizadas para obtener los resultados fueron:

$$ppm = \left[ \frac{\text{Absorbancia} - \text{Intercepto de la curva estándar}}{\text{Pendiente de la curva estándar}} \right] \times \text{Factor de dilución}$$

$$\text{Cantidad por porción} \left( \frac{mg\ eq - AG}{100g} \right) = \left[ \frac{ppm}{1000 \times \text{Peso de la muestra}} \right] \times 100$$

### Capacidad Antioxidante

Se utilizó la técnica de radical libre 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) adaptada de Ordoñez et al. (2019) y Priftis et al. (2015). Se realizó una curva estándar con R<sup>2</sup> de 0.9992 para concentraciones de Ácido Gálico conocidas. Para preparar las lecturas se pesó 0.5 ± 0.0050 g de las muestras en una balanza (OHAUS AX224/E) y se colocó en un tubo para centrifuga de 15 ml, luego se agregó 10 ml de metanol puro como solvente. Se llevó a la centrifuga (VWR modelo Symphony 4417R) a 2,500 RPM por 15 minutos. Posteriormente, se tomó 0.1 ml de la muestra y se colocó en otro tubo de ensayo, se adicionó 1.9 ml de DPPH al 100 µM, y se agitó en un Vortex (Fisherbrand) por 30 segundos a 2,500 RPM. Se tapó con papel aluminio y se colocó en un cuarto oscuro a temperatura ambiente, cada tubo se dejó reposar por 9 minutos. Se realizaron lecturas para cada muestra en un espectrofotómetro de UV visible (Agilent Technologies Cary 8454 Vic Au) a una longitud de onda de 515 nm. Cada lectura se utilizó para calcular el porcentaje de inhibición empleando la fórmula descrita a continuación:

$$\%Inhibición = \frac{\text{Absorbancia control} - \text{Absorbancia de la muestra}}{\text{Absorbancia control}} \times 100$$

### Análisis de Rendimiento

La cosecha se realizó a los 78 DDS, en un área de 0.6 m<sup>2</sup>, donde se cosecharon 10 plantas de cada unidad experimental y se realizó conteo de número de vainas en las 10 plantas, porcentaje de

humedad de los granos al momento de cosecha y el rendimiento. La fórmula para calcular rendimiento fue:

$$\% \text{ Humedad Ajustada} = \frac{100 - \% \text{ de humedad del grano}}{\% \text{ de humedad del grano} - 14\% *}$$

Nota. 14%\* es la humedad deseada

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{Kg}{ha} \right) = \left[ \frac{\frac{10,000 \text{ m}^2/ha \times \text{peso muestra (g)}}{0.6 \text{ m}^2}}{1,000 \text{ g}} \right] \times \%HA$$

### **Análisis Estadístico**

Los datos obtenidos en campo y en laboratorio fueron procesados utilizando Infostat versión 2019. En primer lugar, se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas utilizando los residuales. Cuando los residuales no cumplían con el supuesto de homocedasticidad se transformaron con VarIdent. Se aplicó un ANDEVA multifactorial con interacciones; cuando se encontró diferencia significativa en los factores se procedió con la separación de medias utilizando LSD Fisher. Además, se realizó una correlación de Pearson para determinar la relación entre polifenoles totales y capacidad antioxidante. Los resultados fueron reportados con diferencias significativas para el valor de probabilidad asociada  $P < 0.05$ .

## Resultados y Discusión

### Extracción de Hoja y Rendimiento del Cultivo de Frijol

El manejo agronómico del cultivo consiste en la preparación y fertilidad del suelo, potencial de productividad de las variedades seleccionadas, época y las condiciones climáticas, factores que influyen en el rendimiento y la extracción de nutrientes del suelo. La nutrición vegetal del cultivo de frijol es fundamental para la cantidad de rendimiento en grano de la cosecha (Hernández Fonseca, 2009). Este estudio evaluó tres fuentes de variación para rendimiento: extracción de hoja, variedad de frijol, y tipo de fertilización. Se comprobó que, al realizar tres cortes de hoja, no hubo diferencia ( $P > 0.05$ ) en el rendimiento entre unidades experimentales (Anexo C). De acuerdo con Demooy y Demooy (1989) la cosecha a los 30 DDS en etapa vegetativa y en etapa de floración, en intensidades del 30% y 80% de hojas no tiene impacto en el rendimiento del grano. Esto se debe a que la etapa entre floración y formación de vainas es la etapa donde el cultivo de frijol tiene un incremento de producción de biomasa y materia seca (Lata Tenesaca et al., 2017). En este estudio, las cosechas de hoja se realizaron a bajas intensidades y en etapas de bajo impacto en el cultivo.

Amadeus 77 es una variedad de frijol mejorada originada por la cruce simple entre Tío Canela 75 x DICTA 105, por lo que presenta buenas características en términos de rendimiento, adaptación, resistencia a virus y enfermedades (J. C. Rosas et al., 2004). En el estudio de Valentinetti (2012) Amadeus 77 tiene un rendimiento promedio de 444 Kg/ha con fertilización química y ninguna práctica de agricultura de conservación. Este estudio obtuvo un rendimiento promedio de 3,988.83 Kg/ha para Amadeus 77 (Cuadro 1) siendo la variedad con mayor rendimiento. De acuerdo a Juan C. Rosas et al. (2000) las variedades mejoradas pueden tener rendimientos superiores a 2,000 Kg/ha bajo un buen manejo agronómico, siendo coherente con los datos obtenidos para Amadeus 77 en la finca agroecológica de Zamorano.

**Cuadro 1***Rendimiento en grano por variedad*

Variedades	Media (Kg/ha)
Amadeus 77	3988.83 <sup>a</sup>
Rojo Chortí	3574.83 <sup>ab</sup>
SEF 70	3066.25 <sup>b</sup>
Seda	3057.33 <sup>b</sup>
E.E.	254.29
Valor P	0.0398

*Nota.* Separación de medias por LSD Fisher. Medias con letra común no indican diferencia significativa para valor P <0.05

\*E.E.: Error estándar

**Rendimiento del Cultivo según Tipo de Fertilización**

El compostaje es una práctica de conservación que mantiene o mejora las propiedades físicas, químicas, y microbiológicas del suelo mediante el uso de materiales orgánicos residuales (Román et al., 2015). Según Eboibi et al. (2018) al integrar compost de buena calidad en el suelo se obtienen efectos agronómicos positivos en el desarrollo y rendimiento de Leguminosas. En el estudio de Rasheed et al. (2010) el rendimiento en grano con uso de compost fue significativamente mayor que al aplicar fertilizante químico. El fertilizante químico es de acción inmediata y el compost necesita de la ayuda de microorganismos del suelo para ser disponible para la planta, por lo que es de liberación lenta. Debido a que la curva de absorción de nutrientes en el cultivo de frijol es mayor en la etapa de formación y llenado de vainas (Lata Tenesaca et al., 2017) compost obtuvo mayor rendimiento porque permite mayor disponibilidad de nutrientes en el período de mayor absorción de la planta.

En este estudio, el rendimiento promedio del tratamiento con compost fue de 3,865.54 Kg/ha (Cuadro 2), demostrando a través de la separación de medias que al suplir las necesidades del cultivo con compost y foliar, se obtienen mejores resultados que al combinar fertilización química y foliar. Al medir el rendimiento del cultivo bajo las variables del estudio se contribuye con el Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) de Ciudades y comunidades sostenibles

## Cuadro 2

### Rendimiento en grano por fertilización

Fertilización	Media (Kg/ha)
Compost	3865.54 <sup>a</sup>
Químico	2978.08 <sup>b</sup>
E.E.	179.81
Valor P	0.0014

*Nota.* Separación de medias por LSD Fisher, medias con letra diferente indican diferencia significativa para valor P <0.05

\*E.E.: Error estándar

### Aporte Nutricional de Grano y Hoja

Los componentes nutricionales de los alimentos tienen múltiples fuentes de variación. (FAO, 2020) indica que los servicios de la diversidad biológica promueven dietas nutritivas. Debido a que cada variedad de frijol manifiesta características físicas y químicas diferentes, se realizaron análisis en el LAAZ a los granos de las cuatro variedades en estudio. La implementación de variedades mejoradas ha contribuido a la seguridad alimentaria de las familias campesinas en Centroamérica (Johnson y Klass, 1999), por lo que, al haber identificado algunas de sus propiedades nutricionales en grano (Cuadro 3) y en hoja (Cuadros 4 - 8). El estudio contribuye con el alcance de los ODS, Hambre cero y Salud y bienestar y contribuye con la tendencia de dietas nutritivas a base de plantas para disminución de riesgo como respuesta a la Pandemia de COVID-19 (Kim et al., 2021).

La seguridad alimentaria se ve comprometida por el acceso regular a alimentos nutritivos y en cantidades para suplir las necesidades alimenticias, puede verse acompañada de hambre, malnutrición y mala salud (FAO, 2019). Las dietas enriquecidas a base de plantas aportan beneficios a la salud debido a su composición nutricional y presencia de fitoquímicos como polifenoles que reducen el riesgo de COVID-19 (Kim et al., 2021). Las hojas de las leguminosas son multipropósito y han sido utilizadas para alimentar animales y personas. En América se consume la hoja de 53 especies de leguminosas, mientras que en países de África tropical 93 especies, y en Asia se consumen las hojas de 157 especies (Barrett, 1990). Para promover la conservación de diversidad genética se analizó la

composición en grano de las cuatro variedades de frijol para dar a conocer ciertas características de las variedades (Cuadro 3).

### Cuadro 3

#### *Análisis nutricional del grano de cuatro variedades de frijol*

Análisis	Unidad	Grano			
		Amadeus 77	Rojo Chortí	SEF 70	Seda
Humedad	g/100g	15.7	13.4	15.2	14.5
Cenizas	g/100g	14.69	13.54	13.71	12.95
Proteína	g/100g	25.31	21.93	27.71	21.35
Grasa	g/100g	1.26	0.72	1.03	1.12
Polifenoles totales	mg/100g	654.97	730.48	566.29	708.31
Capacidad Antioxidante	%	46.14	48.58	24.02	49.62

*Nota.* Las muestras analizadas fueron donadas por el PIF de Zamorano por lo que se utilizaron con fines descriptivos y no se analizaron estadísticamente.

La utilización de hojas de frijol tiene impactos importantes en el acceso a alimentos de calidad en las comunidades rurales. Los componentes nutricionales identificados en la hoja de frijol en este estudio fueron: proteínas, grasas, cenizas, y polifenoles. Al proponer el consumo de la hoja de frijol no se contraindicó el consumo de grano. Se consideró el consumo de la hoja como una fuente adicional de alimento a lo largo del ciclo productivo del cultivo para que las familias pueden tener variedad en su dieta. Los análisis de proteína, humedad y actividad antioxidante no presentaron diferencia estadística entre variedades y tipos de fertilización, ni en la interacción entre estos factores.

La hoja demostró tener una importante cantidad de proteína, incluso con un alto porcentaje de humedad (Cuadro 4 y 5). La proteína presente en las hojas se debe a la concentración de N disponible para la planta que funciona para la síntesis de aminoácidos y posteriormente se convierte en proteínas que proporcionan crecimiento de hojas (Pérez Leal, 2017a; 2017b). Este análisis no presentó diferencias estadísticas para la variable de tipo de fertilización debido a que el N suministrado vía fertilización más el proceso de fijación atmosférica por la simbiosis raíz *Rhizobium* entre tratamientos fue asimilado de forma similar por la planta (Ventura Elías et al., 2018).

El análisis nutricional de la hoja de frijol *Phaseolus vulgaris* en promedio tiene una composición de: humedad ( $78.25 \pm 0.56$ ), proteína ( $7.96 \pm 0.11$ ), grasa ( $0.44 \pm 0.08$ ) y cenizas ( $1.34 \pm 0.11$ ) (Oyelude et al., 2012). Los valores obtenidos en este estudio se presentan en base húmeda debido a que es la forma sugerida de consumo. Estos resultados difieren de los obtenidos en el estudio (Cuadros 4 - 8) puede deberse a las variedades utilizadas, etapa fenológica de la planta, condiciones de suelo, factores ambientales, climáticos, riego y asimilación de nutrientes del cultivo. Los valores de los análisis de este estudio en base seca (Anexo D y E) son bastante similares a los obtenidos en el estudio de Oyelude et al. (2012) en base seca (Anexo F). Esto se debe al porcentaje de humedad de la planta al momento de cosecha y por consecuencia al factor de humedad empleado para convertir los datos a base húmeda.

#### Cuadro 4

*Análisis nutricional en hoja de cuatro variedades de frijol bajo fertilización con compost*

Variedad	Humedad (g/100g)	Proteína (g/100g)	Capacidad Antioxidante (%)
Amadeus 77	86.49	26.34	18.02
Rojo Chortí	85.79	26.42	21.17
SEF 70	84.61	24.62	19.24
Seda	85.41	26.32	17.92
Valor P	<0.0001	<0.0001	<0.0001

*Nota.* Valor P < 0.05 indica que el modelo estadístico es significativo.

\*Datos analizados con ANDEVA multifactorial sin diferencia significativa para sus factores e interacciones.

Se realizó el análisis de capacidad antioxidante debido a la preocupación por la Pandemia de COVID 19 y los esfuerzos por promover estilos de vida más saludables y consumir alimentos con propiedades nutraceuticas. El grano de frijol posee antioxidantes (Cardador Martínez et al., 2002) también se realizó en hoja debido a presencia de antioxidantes en hojas verdes de otros cultivos como el brócoli (Avello y Suwalsky, 2006). Se realizó un análisis donde se determinó la cantidad de polifenoles totales y el porcentaje de estos que actúa como inhibidores de radicales libres. La capacidad antioxidante de la hoja oscila entre 17 y 21% para los diferentes tratamientos, no presentó diferencia entre tratamientos ni interacciones (Cuadro 4 y 5). La homogeneidad de exposición

ambiental que tuvieron todos los tratamientos disminuye la variación en la composición de las hojas ya que la biosíntesis de fitoquímicos como flavonoides (antioxidantes) es influenciada por factores ambientales (Pérez Leal, 2017a, 2017b).

### Cuadro 5

*Análisis nutricional en hoja de cuatro variedades de frijol bajo fertilización química*

Variedad	Humedad (g/100g)	Proteína (g/100g)	Capacidad Antioxidante (%)
Amadeus 77	85.43	26.69	21.47
Rojo Chortí	88.5	28.83	19.46
SEF 70	84.96	26.13	20.05
Seda	84.93	26.02	18.51
Valor P	<0.0001	<0.0001	<0.0001

*Nota.* Valor P < 0.05 indica que el modelo estadístico es significativo.

\*Datos analizados con ANDEVA multifactorial sin diferencia significativa para sus factores e interacciones.

### Diferencia Estadística entre Tratamientos en Hoja

Zdravković et al. (2007) presentan en su estudio mejores rendimientos en diferentes variedades de cultivo de zanahoria con fertilización orgánica, y mejor composición nutricional con fertilización química. Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con Zdravkovic et al. (1997) y Etemadi et al. (2018) debido a que la composición química de la hoja del cultivo se vio influenciada en dos análisis por el tipo de fertilización.

En esta investigación hubo un efecto para grasa en el tipo de fertilización y para la interacción de variedad y fertilización (Cuadro 6 y 7), sin embargo, no hubo diferencia por variedad como variable independiente. La interacción con mayor cantidad de grasa fue Rojo Chortí con fertilización química (Cuadro 6), la separación de medias indicó que el mayor contenido de grasa independiente de la variable variedades fue en la fertilización química (Cuadro 7).

**Cuadro 6***Análisis de grasa bifactorial en hoja de cuatro variedades de frijol*

Variedad	Fertilización	Grasa (g/100g)
Rojo Chortí	Químico	3.09 <sup>a</sup>
Seda	Químico	2.92 <sup>ab</sup>
Amadeus 77	Químico	2.88 <sup>abc</sup>
SEF 70	Compost	2.79 <sup>bcd</sup>
Rojo Chortí	Compost	2.64 <sup>cd</sup>
SEF 70	Químico	2.59 <sup>d</sup>
Amadeus 77	Compost	2.57 <sup>d</sup>
Seda	Compost	2.54 <sup>d</sup>
E.E.		0.09
Valor P		0.0073

*Nota.* Separación de medias por LSD Fisher valor P < 0.05. Valores con letras comunes no indican diferencia estadística significativa

\*E.E.: Error estándar

Los polifenoles son metabolitos bioactivos que están presentes en el frijol y que tienen la facultad de beneficiar a la salud humana regulando actividades de amplio espectro en el organismo con base a la cantidad que se consume y su biodisponibilidad (Ganesan y Xu, 2017). Las plantas responden a las situaciones de estrés del medio ambiente con mayor síntesis de metabolitos secundarios como polifenoles y flavonoides, aunque esto limite otros factores como rendimiento (Sharma et al., 2019).

El uso del fertilizante químico fue el mejor tratamiento para la cantidad de polifenoles totales (Cuadro 7). Los polifenoles tienen influencia en procesos de las plantas como división celular, síntesis de pigmentos para fotosíntesis, entre otros (Sharma et al., 2019). La variedad SEF 70 obtuvo una altura de tallo promedio de 7.2 cm a los 25 DDS, siendo mayor que las demás variedades (Anexo G). Esta medición se realizó previa a la cosecha de hojas que se analizó en el LAAZ. Mientras más rápida sea la velocidad de la fotosíntesis, más rápido crece la planta (López, 2021). SEF 70 demostró tener mayor cantidad de polifenoles bajo las mismas condiciones de cultivo que las otras variedades (Cuadro 8), y como consecuencia una mayor tasa fotosintética. La formación de metabolitos secundarios se

beneficia de la alta y continua exposición de luz solar (Pérez Leal, 2017a), por lo que, la altura de tallo es un buen parámetro indicador para los resultados obtenidos en SEF 70.

Los ácidos grasos pueden ser metabolizados a partir de los carbohidratos, cuando existe una alta concentración de azúcares en los tejidos por someter el cultivo a estrés (Herrera Flores et al., 2012), los azúcares se almacenan en forma de almidón y posteriormente se transforman en ácidos grasos, capaces de suplir energía para los procesos metabólicos de la planta (Tacon, 1989). El fertilizante químico, ha demostrado ser el tratamiento con mayor cantidad de grasa promoviendo la síntesis de ácidos grasos como reserva de energía.

### Cuadro 7

*Separación de medias para tipo de fertilización en análisis de grasa y polifenoles totales*

	Grasa (g/100g)	Polifenoles totales (mg/100g)
Químico	2.87 <sup>a</sup>	1469.67 <sup>a</sup>
Compost	2.64 <sup>b</sup>	1251.96 <sup>b</sup>
E.E.	0.04	17.44
Valor P	0.0015	<0.0001

*Nota.* Separación de medias por LSD Fisher valor P < 0.05.

\*Valores con letras diferentes indican diferencia estadística significativa.

\*\*E.E.: Error estándar.

La fracción inorgánica de la composición química de las muestras se determinó mediante un análisis de cenizas, en el cual hubo diferencias entre variedades. Los resultados obtenidos en cenizas se utilizan para la determinación de minerales totales. Debido a que las variedades utilizadas han sido fortificadas en ciertos minerales los resultados obtenidos en este análisis son relevantes para el estudio. Estas diferencias pueden deberse a la diversidad genómica que interfiere en los procesos metabólicos de las plantas y en la síntesis de metabolitos primarios y secundarios (Verpoorte et al., 1999). La variedad con mayor contenido de cenizas fue Amadeus 77 y Rojo Chortí, sin diferencia estadística en la separación de medias entre ambas variedades (Cuadro 8).

**Cuadro 8**

*Separación de medias en polifenoles totales en hoja de cuatro variedades de frijol*

Variedad	Polifenoles totales (mg/100g) $\pm$ E.E.	Ceniza (g/100g) $\pm$ E.E.
Amadeus 77	1379.6 $\pm$ 24.67 <sup>b</sup>	13.81 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>
Rojo Chortí	1319.16 $\pm$ 24.67 <sup>b</sup>	13.74 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>
Seda	1187.56 $\pm$ 24.67 <sup>c</sup>	13.05 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>
SEF 70	1556.94 $\pm$ 24.67 <sup>a</sup>	12.06 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>
Valor P	<0.0001	0.0011

*Nota.* Separación de medias por LSD Fisher valor P < 0.05.

\*Valores con letras diferentes indican diferencia estadística significativa

\*\*Valores con letras comunes no indican diferencia estadística significativa

Durante la Pandemia de COVID 19 se encontró que la deficiencia de ciertos micronutrientes y compuestos bioactivos como ácidos grasos Omega 3, polifenoles, probióticos y una adecuada hidratación tienen impactos negativos a la respuesta inmunológica (Palacios et al., 2019). Existe evidencia sobre el impacto positivo de los polifenoles en la prevención y reducción de la inflamación y senescencia de células en el organismo en pacientes con COVID 19 (Carvalho Santos et al., 2021). Si se consumen las hojas de la variedad de frijol SEF 70 como fuente de polifenoles como componente bioactivo (Cuadro 8), se previene la deficiencia de polifenoles en la comunidad.

La grasa de los alimentos sirve en el organismo como una fuente de energía, y ciertos ácidos grasos tienen influencia en las respuestas del sistema inmunológico, procesos inflamatorios y disminuyen el riesgo por cardiopatías (Slobodianik et al., 2021). El aporte de grasa del frijol es bastante poco con base a los valores de consumo diario recomendado por el RTCA, 2012, sin embargo, los fosfolípidos y ácidos grasos del frijol, ejercen un efecto cardioprotector según Kirsten et al. (1994). Para obtener estos beneficios del consumo de grasa, la hoja de la variedad Rojo Chortí bajo fertilización química (Cuadro 6) demostró ser el mejor tratamiento, por lo que su consumo ayudaría a la salud de la comunidad.

### Conclusiones

El corte de hoja en el cultivo no tuvo ningún efecto en el rendimiento. La variedad que presentó el mejor rendimiento fue Amadeus 77 (3,988.83 Kg/ha) y hubo un mejor rendimiento a la aplicación de compost (3,865.54 Kg/ha).

La variedad Rojo Chortí presentó el mejor aporte de grasa cruda en hoja bajo fertilización química (3.09 g/100g); la variedad SEF 70 presentó el mayor contenido de polifenoles tanto en fertilización química como en compost (1,556.94 mgeqAG/100g) y las variedades Amadeus 77 (13.81 g/100g) y Rojo Chortí (13.74 g/100g) obtuvieron mayor cantidad de ceniza.

La fertilización química en promedio mostró mayor síntesis de polifenoles y grasas que el compost, esto pudo haber ocurrido por los aportes nutricionales con fertilización química debido a la síntesis de fitoquímicos y biomoléculas específicas por la disponibilidad de nutrientes.

La hoja de frijol queda a criterio de los beneficios (nutricionales, polifenoles y capacidad antioxidante) que el potencial consumidor desea obtener a través de la ingesta de la hoja acorde a los resultados obtenidos para las variedades evaluadas y tipos de fertilización.

### Recomendaciones

Comprobar el efecto agronómico del cultivo de frijol con más frecuencia de extracción de hoja e intensidad en diferentes etapas del cultivo antes y después de floración. Estimar la capacidad máxima de extracción para comercialización de la hoja abriendo la oportunidad a los productores de vender la hoja fresca, además del autoconsumo.

Promover el cultivo de la variedad Amadeus 77 con los productores de la microcuenca Santa Inés, bajo fertilización con compost para mejorar rendimientos de grano y reducir impactos negativos en la cuenca por mal uso de fertilizantes químicos.

Realizar un análisis proximal completo, residualidad química y análisis de factores anti nutricionales para determinar la porción de hoja y caracterizar los compuestos orgánicos que podrían inhibir la acción de otros fitoquímicos beneficiosos, o causar efectos negativos al consumidor.

Realizar repeticiones en diferentes épocas del año y tipos de suelo para evaluar si la composición química de las hojas varía según la época del año, condiciones ambientales y manejo histórico del suelo. Determinar la mejor época de extracción de hoja y síntesis de nutrientes.

## Referencias

- AOAC. (2000). *Official Method 991.36 - Fat (Crude) in Meat and Meat Products* (17<sup>a</sup> ed.). *Official Methods of Analysis*. AOAC International Publisher.
- AOAC. (2001). *Official Method 2001.11 - Protein (Crude) in Animal Feed, Forage (Plant tissue), Grain, and Oilseeds* (17<sup>a</sup> ed.). *Official Methods of Analysis*. AOAC International Publisher.
- AOAC. (2005). *Official Method 923.03 - Ash of Flour* (18<sup>a</sup> ed.). *Official Methods of Analysis*. AOAC International Publisher.
- AOAC. (2006). *Official Method 950.46 - Moisture in meat* (18<sup>a</sup> ed.). *Official Methods of Analysis*. AOAC International Publisher.
- Avello, M. y Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.4067/S0718-04622006000200010>
- Barrett, R. P. (1990). *Advances in new crops: Legume Species as Leaf Vegetables*. Timber press. <https://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1990/V1-391.html#Preparation%20and%20Cooking>
- Bertsch Hernández, F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos* (Primera Edición). Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Butler, M. J. y Barrientos, R. M. (2020). The impact of nutrition on COVID-19 susceptibility and long-term consequences. *Brain, Behavior, and Immunity*, 87, 53–54. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.04.040>
- Cardador Martínez, A., Lorca Piña, G. y Oomah, D. B. (2002). Antioxidant Activity in Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 6975–6980.
- Carvalho Santos, J., Lima Ribeiro, M. y Gambero, A. (2021). The Impact of Polyphenols-Based Diet on the Inflammatory Profile in COVID-19 Elderly and Obese Patients. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.612268>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2.2020). *Mercado del frijol, situación y prospectiva*. México. Palacio Legislativo de San Lázaro.
- Cornell University. (1996). *C:N Ratio calculator*. Cornell Waste Management Institute. <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>
- Demooy, B. E. y Demooy, C. J. (1989). Effects of leaf-harvesting practices on yield and yield components of ER-7 cowpea (*Vigna unguiculata*) in semi-arid Botswana. *Field Crops Research*, 22(1), 27–31. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90086-5](https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90086-5)

- Eboibi, O., Akpokodje, O. I. y Uguru, H. (2018). Growth Performance of Five Bean (*Phaseolus* spp) Varieties as Influenced by Organic Amendment. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 22(5), 759. <https://doi.org/10.4314/jasem.v22i5.29>
- Etemadi, F., Hashemi, M., Randhir, R., ZandVakili, O. y Ebadi, A. (2018). Accumulation of L-DOPA in various organs of faba bean and influence of drought, nitrogen stress, and processing methods on L-DOPA yield. *The Crop Journal*, 6(4), 426–434. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.12.001>
- FAO. (2019). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. El Estado del Mundo*. FAO.
- FAO. (2020). *How the world's food security depends on biodiversity*. Roma. Commission on genetic resources for food and agriculture (CGRFA). [www.fao.org/cgrfa](http://www.fao.org/cgrfa)
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP y WHO. (2020). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020.: Transforming food systems for affordable healthy diets*. FAO. <http://www.fao.org/3/ca9692en/ca9692en.pdf> <https://doi.org/10.4060/ca9692en>
- Galmés, S., Serra, F. y Palou, A. (2020). Current State of Evidence: Influence of Nutritional and Nutrigenetic Factors on Immunity in the COVID-19 Pandemic Framework. *Nutrients*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/nu12092738>
- Gálvez Ranilla, L., Genovese, M. I. y Lajolo, F. M. (2007). Polyphenols and antioxidant capacity of seed coat and cotyledon from Brazilian and Peruvian bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(1), 90–98. <https://doi.org/10.1021/jf062785j>
- Ganesan, K. y Xu, B. (2017). Polyphenol-Rich Dry Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and Their Health Benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(2331). <https://doi.org/10.3390/ijms18112331>
- García, E. M., Fernández, I [Isabel] y Fuentes, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu* [Artículo]. Universitat Politècnica de València, España. <http://hdl.handle.net/10251/52056>
- (2009). *Manual de Recomendaciones técnicas: Cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris)*. Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Herrera Flores, T. S., Ortíz Cereceres, J., Delgado Alvarado, A. y Acosta Galleros, J. A. (2012). Crecimiento y contenido de prolina y carbohidratos de plántulas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 3(4), 713–725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i4.1425>
- Johnson, N.; Klass, J. (1999). *The impact of Crop improvement Research on Rural Poverty: A Spatial Analysis of BGMV-Resistant Bean Varieties in Honduras* (Assesing the Impact of Agricultural Research on Poverty Alleviation). [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/paper\\_pobreza/047.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/paper_pobreza/047.pdf)

- Kim, H., Rebholz, C. M., Hegde, S., LaFiura, C., Raghavan, M., Lloyd, J. F., Cheng, S. y Seidelmann, S. B. (2021). Plant-based diets, pescatarian diets and COVID-19 severity: a population-based case-control study in six countries. *BMJ Nutrition, Prevention & Health*, 4(1), 257–266. <https://doi.org/10.1136/bmjnph-2021-000272>
- Kirsten, R., Heintz, B., Hesse, K., Schneider, E., Omerek, G. y Nemeth, N. (1994). Polyenylphosphatidylcholine improves the lipoprotein profile in diabetic patients. *International Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 32(2), 6–53. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8004358/>
- Lata Tenesaca, L., Villaseñor Ortiz, D. y Chabla Carrillo, J. (2017). Fraccionamiento de la Absorción de nutrientes en cuatro etapas fenológicas del cultivo de fréjol. *Universidad Y Sociedad*, 9(1), 18–29. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202017000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000100003)
- López, J. C. (2021). *La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo*. PROMIX. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo/>
- Mateo, N. (2014). *La cadena de maíz y frijol en Centroamérica y República Dominicana: La experiencia del proyecto PRESICA: Innovación para el desarrollo: una visión para la sostenibilidad de la agricultura familiar*.
- Etiquetado Nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad 1 (2012).
- Morales Rosales, E. J., Escalante Estrada, J. A. y López Sandoval, J. A. (2008). Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Universidad Y Ciencia Trópico Húmedo*, 24(1), 1–10. <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v24n1/v24n1a1.pdf>
- Ordoñez, E., Leon Arevalo, A., Rivera Rojas, H. y Vargas, E. (2019). Quantification of total polyphenols and antioxidant capacity in skins and seeds from cacao (*Theobroma cacao* L.), tuna (*Opuntia ficus indica* Mill), grape (*Vitis Vinífera*) and uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). *Scientia Agropecuaria*, 10(2). <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.02>
- Oyelude, E. O., Gli, N. P. y Amafo, J. (2012). Proximal, mineral, antinutritional composition of bean leaf. *Journal of Scientific Innovations for Development Volume*, 1(1), 12–21. <https://cutt.ly/HQMmgZo>
- Palacios, C., Bernal, J., Bonvecchio, Gutiérrez, M., Herrera Cuenca, M., Irizarry, L., Mendivil, Lina Lay, López Bautista, Fabiola, López Marisol, Mata, C., Moliterno, P., Moyano, D., Murillo Diana, Pacheco, S., Palorames, L., Páramo, K., Pérez, A., Tijerina Walls, M. V. y Trak-Fellermeier, M. A. (2019). Recomendaciones nutricionales para el personal de salud y el personal esencial expuesto a la COVID-19 en Latinoamérica. *Archivos Latinoamericanos De Nutrición*, 69(4). <https://www.alanrevista.org/ediciones/2019/4/art-5/>

Pérez Leal, F. (2017a). *Fisiología vegetal: Parte II*. Revisión bibliográfica.

Pérez Leal, F. (2017b). *Nutrición Mineral: Parte III*. Revisión bibliográfica.

Priftis, A., Stagos, D., Konstantinopoulos, K., Tsitsimpikou, C., Spandidos, D. A., Tsatsakis, A. M., Tzatzarakis, M. N. y Kouretas, D. (2015). Comparison of antioxidant activity between green and roasted coffee beans using molecular methods. *Molecular Medicine Reports*, 12(5), 7293–7302. <https://doi.org/10.3892/mmr.2015.4377>

Rasheed, M. A., Youssef, R. A., Gaber, S. El, Adb, A. A., Teiseira, J. A. y Abou, N. H. (2010). The Combined Effect of Organic and Chemical Fertilizers under Water Stress on Nutrient Uptake of Corn and Bean Plants. *Plant Stress*, 4(1), 64–71.

Román, P., Martínez, M. M. y Pantoja, A. (2015). *Farmer's compost handbook: Experiences in Latin America*. FAO.

Rosas, J. C [J. C.], Beaver, J. S., Beebe, S. y Viana, A. (2004). Nomenclatura de variedades de frijol común liberadas en Centro América y El Caribe. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2), 221–224. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43715213>

Rosas, J. C [Juan C.], Castro, A. y Flores, E. (2000). Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y El Caribe. *Agronomía Mesoamericana*, 11(2), 37–43. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43711206>

Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M. y Zheng, B. (2019). Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 24(13). <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>

Slobodianik, N., Fernández, I [Inés] y Feliu, M. S. (2021). Importancia de los ácidos grasos Omega 3 en la salud. *Actualización En Nutrición*, 22(1), 25–32. [http://revistasan.org.ar/pdf\\_files/trabajos/vol\\_22/num\\_1/RSAN\\_22\\_1\\_25.pdf](http://revistasan.org.ar/pdf_files/trabajos/vol_22/num_1/RSAN_22_1_25.pdf)

Suazo Mercado, Y. S. (2012). *Efecto de la fermentación y el tostado sobre la concentración polifenólica y actividad antioxidante de cacao nicaragüense* [Tesis de maestría]. Universidad Pública de Navarra, España. <https://hdl.handle.net/2454/6534>

Tacon, A. G. (1989). *Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados: Manual de Capacitación*. FAO. <http://www.fao.org/3/AB492S/AB492S00.htm#TOC>

Valentinetti, S. (2012). *Estudio de la aceptación de la variedad mejorada de frijol común Amadeus 77 en la aldea de San Lorenzo, Danlí, El Paraíso, Honduras* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1052/1/T3306.pdf>

Ventura Elías, R., Clará Melara, A., Bruno, O. y Parada, J. R. (2018). *Cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.)* [Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)].

- Verpoorte, R., van der Heijden, R., Hoopen, H. ten y Memelink, J. (1999). Metabolic engineering of plant secondary metabolite pathways for the production of fine chemicals. *Biotechnology Letters*, 21(6), 467–479. <https://doi.org/10.1023/A:1005502632053>
- Zdravkovic, M., Damjanovic y Corokalo (1997). The influence of fertilization on the yield of different carrot varieties. *Acta Horticulturae*(462), 93–96. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.462.11>
- Zdravković, M., Damjanović, M., Cvikić, D. y Zdravković, J. (2007). Effects of fertilizers on nutritive characteristics of carrot. *Acta Horticulturae*(729), 361–365. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.729.60>

## Anexos

## Anexo A

*Análisis de suelo previo al establecimiento del cultivo*

Parámetro	Unidad	Muestra
		Análisis de suelo
(H <sub>2</sub> O)		
pH*		5.98
C.O.		1.75
M.O.		3.02
N <sub>total</sub>	g/100g	0.15
P		12
K		207
Ca		723
Mg		74
Na	mg/kg (extractable)	8
Cu		2.1
Fe		202
Mn		190
Zn		1.3

## Anexo B

### *Análisis de compost en diferentes etapas*

Parámetro	Unidad	Muestra			
		Olote semi descompuesto	Estiércol	Control semana 7	Compost estabilizado
pH		5.53	8.01	7.01	6.75
MO				39.5	34.7
CO		22.1	25.8	22.9	20.1
N		1.31	1.33	1.48	1.29
P	g/100 g (%)	0.07	0.42		0.33
K		0	1		0.47
Ca		0.13	0.94		0.67
Mg		0.12	0.3		0.23
S		0.02	0.11		
Na		43	107		550
Cu		21	65		27
Fe	mg/Kg	8139	7114		5360
Mn		333	416		725
Zn		93	133		121
B		38	31		
C/N		16.9	19.4	15.5	15.5
Humedad	g/100 g (%)	61.2	13.3	58.5	54.6
DAP	g/ml			0.34	0.36

**Anexo C***Información complementaria de rendimiento*

Parcela	Tratamiento	Variedades (kg/ha)			
		Rojo Chortí	SEF 70	Amadeus 77	Seda
Con corte de hoja	Compost	3845	3774	4766	3576
	Químico	3332	2373	3646	2686
Sin corte de hoja	Compost	3611	3168	4443	3741
	Químico	3512	2949	3100	2226

*Notas.* Rendimiento final bifactorial.

**Anexo D***Análisis nutricional base seca con fertilización por compost*

Variables	Variedad			
	Seda	Rojo Chortí	Amadeus 77	SEF 70
Humedad	85.41	85.79	86.49	84.61
Proteína	30.80359	30.7827	30.46523	29.11312
Grasa	2.972908	3.080802	2.969608	3.30189
Cenizas	15.249	15.063	15.867	14.517

**Anexo E***Análisis nutricional base seca con fertilización química*

Variables	Variedad			
	Seda	Rojo Chorti	Amadeus 77	SEF 70
Humedad	84.93	88.5	85.43	84.96
Proteína	30.66215	32.60311	31.24325	30.75076
Grasa	3.441723	3.495083	3.375481	3.054211
Cenizas	15.405	16.432	16.245	13.936

**Anexo F**

*Resultados de Oyelude et al. (2012) en base seca*

Variables	Phaseolus vulgaris
Humedad	78.25±0.56
Proteína	36.60±0.43
Grasa	2.02±0.07
Cenizas	6.16±0.21

## Anexo G

### *Parámetros de crecimiento parcela con corte de hoja*

Parámetro	Variedad			
	SEF 70	Amadeus 77	Seda	Rojo Chortí
Altura de tallo (cm)	7.2	5.8	5.3	5.4
Diámetro de tallo (mm)	4.1	3.8	3.3	3.9

*Notas.* Datos tomados en campo a los 25 DDS.

\*Medición previo a la primera extracción de hoja.

**Anexo H***Parámetros de crecimiento parcela sin corte de hoja*

Parámetro	Variedad			
	SEF 70	Amadeus 77	Seda	Rojo Chortí
Altura de tallo (cm)	7.1	5.4	6.0	5.7
Diámetro de tallo (mm)	3.6	3.5	3.1	3.7

*Notas.* Datos tomados en campo a los 25 DDS.

**Anexo I***Parámetros de crecimiento por tipo de fertilización*

Parámetro	Fertilización	
	Compost	Químico
Altura	6.0	5.9
Diámetro	4.0	3.3

*Notas.* Datos tomados en campo a los 25 DDS.

## Anexo J

### *Etapa reproductiva del cultivo*

Variedad	Con corte de hoja		Sin corte de hoja	
	DF	MF	DF	MF
Amadeus 77	33	61	35	61
SEF 70	33	61	32	61
Rojo Chortí	35	61	33	61
Seda	31	55	31	55

*Notas:* DF: Días a Floración

\*MF: Días a Madurez Fisiológica