UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

VARIACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE *Arachis hypogaea L*. SEGÚN LA PENDIENTE EN CASA INGARU

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA

AUTOR: JENIFER PAMELA BELTRÁN HERRERA

TUTORA: PhD. SILVIA ALEJANDRA LLERENA GORDILLO

COTUTOR: MSc. JESSICA PAOLA SÁNCHEZ MOREANO

Tena-Ecuador

2026

Carrera de Biotecnología

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 02 de septiembre del 2026

De mi consideración:

Yo, Jenifer Pamela Beltrán Herrera con documento de identidad 0503048910, declaró que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título “VARIACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE *Arachis hypogaea L*. SEGÚN LA PENDIENTE EN CASA INGARU", son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en el presente documento, son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JENIFER PAMELA BELTRAN HERRERA

Jenifer Pamela Beltrán Herrera

CI: 0503048910

Carrera de Biotecnología

Autorización de publicación en el repositorio institucional

Tena, 02 de septiembre del 2026

Yo, Jenifer Pamela Beltrán Herrera con documento de identidad 0503048910 en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "VARIACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE *Arachis hypogaea L*. SEGÚN LA PENDIENTE EN CASA INGARU", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JENIFER PAMELA BELTRAN HERRERA

Jenifer Pamela Beltrán Herrera

CI: 0503048910

Carrera de Biotecnología

Certificado de dirección de trabajo de titulación

Tena, 02 de septiembre del 2026

Certifico que el trabajo de titulación: “VARIACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO, RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE *Arachis hypogaea L*. SEGÚN LA PENDIENTE EN CASA INGARU", aprobado bajo el mecanismo de titulación de: tesis, fue realizado por Jenifer Pamela Beltrán Herrera bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
SILVIA ALEJANDRA LLERENA GORDILLO

Tutora

Silvia Alejandra Llerena Gordillo

C.I: 1715410625

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JESSICA PAOLA SANCHEZ MOREANO

Cotutora

Jessica Paola Sánchez Moreano

C.I: 0603977356

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por estar conmigo en esta etapa de la vida y por ayudarme a ser fuerte y sabio y superar cada desafío. Gracias a mis padres por ser tan amables y cuidar de mí, por siempre creer en mí y por estar ahí apoyándome en cada paso de mi formación profesional. Gracias por estar ahí y ayudarme a aprender de ustedes, por ejemplo, el esfuerzo y la perseverancia. A mi hermana por su cariño, compañía y amor. Gracias por estar ahí para mí y por las cosas que me hicieron llegar aquí y ayudarme a llegar aquí. A mi asesora de tesis, por su orientación, paciencia, dedicación, y su inspiración y apoyo para desarrollar este trabajo. Sus observaciones y apoyo fueron clave para este trabajo. A mis amigos de la universidad, por el valor de compartir esta etapa conmigo, un apoyo que fue mucho más que útil, el apoyo que me brindaron en estos tiempos difíciles, y por todos los buenos recuerdos de los últimos diez años que tenemos. Y deseo agradecerles por su ayuda, aliento y apoyo para hacer de este un tiempo de aprendizaje, amistad y memorable. Y a todos los que estuvieron involucrados en este proceso y todos ustedes estuvieron conmigo, al menos de alguna manera, en el proceso a través de aliento, consejo, ayuda y compañía. Cada pequeño gesto, por pequeño que fuera, me ayudó a lograr este objetivo hoy. Estoy verdaderamente agradecido con todos ustedes.

DEDICATORIA

Por todo lo que me has proporcionado para ayudarme en este viaje que ha sido realmente difícil y no estoy seguro de que lo hubiera logrado si no fuera por Dios. Y a mis padres, que son verdaderamente mis mayores inspiradores; por intentarlo y amarme tanto, mantener la fe en mí y siempre decirme que cada esfuerzo tiene su recompensa. Este logro también es suyo. Estoy muy agradecido con mi hermana que siempre está ahí con amor y apoyo en cada paso de este viaje. Los mejores amigos de la universidad con quienes siempre he compartido conocimientos y largas sesiones de estudio, y esos son los que siempre recordaré. Gracias por las risas, el apoyo, el ánimo y por hacer todo esto aún más especial para mí. A mí mismo, por seguir adelante; por cada esfuerzo que hice en lo que hacía en el momento en que parecía difícil y nunca me rendí. Ahora recuerdo lo bien que lo hice y cuánto tuve que luchar para llegar aquí.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD…… ii

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL…….. III

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN…….. IV

AGRADECIMIENTOS…… V

DEDICATORIA…… VI

ÍNDICE DE TABLAS…… X

ÍNDICE DE FIGURAS…….. X

ÍNDICE DE ANEXOS…… XI

RESUMEN…… XII

ABSTRACT…….. XIII

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN……. 1

1.1. Antecedentes…… 1

1.1.1. Cultivo de Maní (Arachis hypogaea L.): Generalidades..…….. 1

1.1.1.1. Origen y Clasificación Taxonómica…….. 1

1.1.1.2. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales para el cultivo de maní (Arachis hypogaeaL.)…… 1

1.1.1.3. Importancia Alimentaria y Económica del Cultivo…… 2

1.1.1.4. Producción de maní en Ecuador…… 2

1.1.2. Composición química y nutricional del maní…… 3

1.1.3. Factores que Influyen en la Composición Nutricional del Maní…… 4

1.1.3.1. Influencia de la pendiente en la fertilidad del suelo…… 7

1.1.4. Influencia de la topografía en las propiedades del suelo…… 10

1.1.4.1. Influencia de las Condiciones Edáficas sobre la Calidad del Maní…… 12

1.2. Planteamiento del Problema…….. 14

1.3. Justificación de la Investigación: influencia de la pendiente sobre el rendimiento y la composición nutricional del maní…… 15

1.4. Objetivos…… 18

1.4.1. General……..... 18

1.4.2. Específicos……..... 18

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA…… 19

2.1. Lugar de estudio……..... 19

2.1.1. Establecimiento de parcelas y determinación de la pendiente…… 20

2.1.2. Manejo agrícola del ensayo……..... 21

2.1.3. Caracterización del suelo……..... 22

2.1.3.1. Recolección de muestras de suelo…… 22

2.1.4. Análisis fisicoquímicos de suelo…… 23

2.1.4.1. Procesamiento de muestras de suelo…….... 23

2.1.5. Determinación de materia orgánica……..... 23

2.1.6. Determinación de pH……..... 24

2.1.7. Determinación de densidad aparente (mg⁄m3) por método de cilindro…….. 25

2.1.8. Determinación de Densidad Real……..... 26

2.1.9. Determinación de textura…… 27

2.1.10. Análisis de muestras con el espectrómetro de fluorescencia de rayos X…… 28

2.1.11. Análisis de nitrógeno total en muestras de suelo……..... 29

2.1.12. Recolección de la muestra de plantas de Arachis hypogaea L…… 30

2.1.13. Análisis nutricional…… 31

2.1.14. Determinación de humedad…… 31

2.1.15. Determinación de cenizas…… 32

2.1.16. Determinación de lípidos…… 33

2.1.17. Determinación de fibra.……..... 34

2.1.18. Diseño del estudio……..... 35

2.1.19. Análisis estadístico……..... 36

CAPÍTULO III. RESULTADOS……. 38

3.1. Caracterización de las condiciones del área de estudio……. 38

3.1.1. Propiedades físicas del suelo…… 38

3.1.1.1. Densidad Aparente…….. 38

3.1.2. Densidad real……. 39

3.1.2.1. Textura del suelo…….. 40

3.1.3. Propiedades Químicas del suelo……. 41

3.1.3.1. pH del suelo…….. 41

3.1.3.2. Materia Orgánica…….. 42

3.1.3.3. Nitrógeno Total…….. 44

3.1.3.4. Composición Elemental mediante FRX…….. 44

3.2. Producción del cultivo de maní……. 45

3.2.1. Producción obtenida durante la cosecha……. 45

3.2.2. Composición nutricional del maní (Arachis hypogaea L.)…… 49

3.2.2.1. Nitrógeno total…….. 49

3.2.2.2. Humedad…….. 51

3.2.2.3. Cenizas…….. 52

3.2.2.4. Lípidos…….. 53

3.2.2.5. Fibra…….. 54

3.2.2.6. Composición nutricional general del maní (Arachis hypogaea L.)…….. 55

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN……. 57

4.1. Influencia de la pendiente sobre las propiedades físicas del suelo…….. 57

4.2. Influencia de la pendiente sobre la fertilidad química del suelo…… 59

4.3. **Influencia de la pendiente sobre la producción del cultivo de *Arachis hypogaea L*……** 60

4.4. Influencia de la pendiente sobre la composición nutricional del maní (*ArachishypogaeaL.*)…… 62

4.4.1. Comparación de la composición nutricional con valores reportados para Arachis hypogaea L……. 66

4.5. Integración del sistema suelo–planta bajo la influencia de la pendiente.. 70

CONCLUSIONES…… 73

RECOMENDACIONES……. 76

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Composición nutricional del maní (*Arachis hypogaea* L.) en las pendientes evaluadas de Casa Ingaru Tena…… 66

Tabla 2-4: Comparación de la composición nutricional del maní producido en Casa Ingaru con valores de referencia para *Arachis hypogaea* L…… 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3: Densidad aparente del suelo en función de la pendiente…… 38

Figura 2-3: Densidad real del suelo según el grado de pendiente…….. 39

Figura 3-3: Clasificación textural del suelo en las pendientes moderada (20–30 %) y fuerte (40–50 %)…….. 40

Figura 4-3: Contenido de materia orgánica del suelo según el grado de pendiente…. 42

Figura 5-3: Composición elemental del suelo determinada mediante fluorescencia de rayos X (FRX) según el grado de pendiente…… 44

Figura 6-3: Comparación del peso de las plantas de maní entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 %..... 45

Figura 7-3: Comparación del peso de las vainas de maní entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 %..... 46

Figura 8-3: Comparación del rendimiento del cultivo de maní entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 %..... 46

Figura 9-3: Contenido de nitrógeno total del maní (*Arachis hypogaea L.)* en las pendientes evaluadas…….. 49

Figura 10-3: Comparación del contenido de humedad del maní (*Arachis hypogaea L.)* 50

Figura 11-3: Contenido de cenizas (%) del maní cosechado en distintas pendientes… 51

Figura 12-3: Contenido de lípidos (%) del maní cosechado en distintas pendientes… 52

Figura 13-3: Contenido de fibra (%) del maní cosechado en distintas pendientes…….. 53

Figura 14-3: Composición nutricional del maní (*Arachis hypogaea L*.) en las pendientes evaluadas de Casa Ingaru-Tena…… 55

Figura 15-4: Comparación de la composición nutricional del maní producido en Casa Ingaru con valores de referencia reportados para *Arachis hypogaea L*…… 68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Preparación del suelo

Anexo B. *Distribución de las parcelas*

Anexo C. Producción y composición nutricional del maní (*Arachis hypogaea L.)* por parcela en las pendientes evaluadas de Casa Ingaru, Tena

Anexo D. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo según el grado de pendiente

Anexo E. Pronunciamiento favorable para la autorización de recolección de especímenes de diversidad biológica con fines de investigación científica

RESUMEN

El maní (*Arachis hypogaea L.*) constituye un cultivo de importancia alimentaria por su contenido de lípidos, fibra, minerales y componentes nutricionales; sin embargo, existe información limitada sobre su composición nutricional bajo las condiciones edáficas y topográficas de la Amazonía ecuatoriana. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la pendiente sobre el rendimiento y la composición nutricional de *A. hypogaea* L. cultivado en las chacras de Casa Ingaru, Tena. Se analizaron parcelas en pendientes entre 20-30% y 40-50% para caracterizar las propiedades físicas y químicas del suelo, el rendimiento y el contenido nutricional del grano. Se encontró que en el suelo estaba entre 21.35-28.12% y hubo una diferencia significativa entre las pendientes ($p < 0.001$), mientras que la densidad aparente estaba entre 0.4127 y 0.5110 g cm^{-3} y no mostró diferencia significativa ($p = 0.0711$). Ambas áreas tenían suelos ácidos con valores de pH entre 4.55-5.00. El rendimiento fue de 401.90-432.38 kg ha^{-1} y no mostró diferencia significativa entre las pendientes ($p = 0.100$). Se encontró que el contenido nutricional era de 7.09-7.13%, cenizas entre 2.14-2.44%, lípidos entre 45.74-47.40%, fibra entre 8.40-9.54% y nitrógeno total entre 25,453.78 a 31,603.78 mg kg^{-1}. Se observaron variaciones, pero ninguna de las variables nutricionales mostró diferencias significativas entre las pendientes. Los resultados permiten establecer el contenido nutricional de los cacahuetes producidos en Casa Ingaru y muestran que, bajo las condiciones, la pendiente se relacionó principalmente con la materia orgánica, pero no hubo cambios en el rendimiento o el contenido nutricional del grano.

Palabras Claves: Propiedades nutricionales, suelo, influencia de la pendiente, correlaciones, Rendimiento

ABSTRACT

Peanuts (Arachis hypogaea L.) are an important food crop due to their content of lipids, fiber, minerals, and other nutritional components; however, there is limited information on their nutritional composition under the edaphic and topographic conditions of the Ecuadorian Amazon. The objective of this study was to evaluate the effect of slope on the yield and nutritional composition of A. hypogaea L. grown on the farms of Casa Ingaru, Tena. Plots on slopes ranging from 20–30% to 40–50% were analyzed to characterize the physical and chemical properties of the soil, crop yield, and the nutritional content of the peanut. Soil moisture content was found to range from approximately 21.35% to 28.12%, and there was a statistically significant difference between the slopes ($p < 0.001$), while bulk density ranged from 0.4127 to 0.5110 g cm^{-3} and showed no significant difference ($p = 0.0711$). Both areas had acidic soils with pH values ranging from 4.55 to 5.00. Crop yield ranged from 401.90 to 432.38 kg ha^{-1} and showed no significant difference between slopes ($p = 0.100$). Although numerical variations were observed, none of the nutritional variables showed statistically significant differences among the slopes evaluated. The results allow us to determine the nutritional content of the peanuts produced at Casa Ingaru and show that, under the conditions evaluated, the slope was primarily related to organic matter, but there were no changes in yield or in the nutritional content of the nuts.

Keywords: Nutritional properties, soil, slope influence, correlations, yield.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

1.1.1. Cultivo de Maní (Arachis hypogaea L.): Generalidades

1.1.1.1. Origen y Clasificación Taxonómica

El maní es una leguminosa perteneciente a la familia Fabaceae, cultivada principalmente en regiones tropicales y subtropicales debido a su importancia alimentaria y económica Blacio et al. (2020). Su origen se sitúa en América del Sur, principalmente en zonas de Bolivia y el noroeste de Argentina, sin embargo, logró dispersarse hacia diferentes continentes mediante procesos de intercambio comercial y agrícola (Sornoza el al., 2024).

Abdullahi et al. (2021) señalan que el maní pertenece taxonómicamente al género *Arachis* y a la especie *Arachis hypogaea* L., caracterizada por presentar una elevada diversidad genética y morfológica que favorece su adaptación a diferentes condiciones ambientales y sistemas de producción.

1.1.1.2. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales para el cultivo de maní (Arachis hypogaea L.)

La temperatura es el parámetro climático más importante ya que esta especie está mejor adaptada a climas cálidos (Shi-cheng et al., 2021). La FAO (2021) afirma que el rango óptimo de temperatura para el crecimiento y desarrollo del cultivo está entre 25 y 30 °C (lo cual puede utilizarse para la germinación de las plantas, la floración y la formación de vainas). La disponibilidad de agua también es un aspecto crítico para el éxito del cultivo, según Medrano et al. (2026). Durante la floración y el llenado de vainas, los cacahuetes requieren

considerable agua y necesitan mucha humedad en el suelo para poder desarrollarse y mantener la fertilidad (Pedelini, 2012). En suelos donde se proporciona lluvia, los maníes crecerán mejor con un buen drenaje y aireación (Sornoza et al., 2024).

A medida que se forma el sistema radicular y las vainas se forman debajo de la superficie del suelo, podemos aprovechar al máximo los recursos disponibles y los cultivos crecerán de manera más eficiente. Pero la calidad de los cacahuetes está directamente determinada por la disponibilidad de nutrientes. Los macronutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y azufre están involucrados en varios procesos metabólicos y fisiológicos que son capaces de apoyar el crecimiento de las plantas y semillas que son saludables y tienen buen contenido nutricional. Por esta razón, la fertilidad adecuada del suelo es un aspecto crucial para el crecimiento exitoso del cultivo (Macias et al., 2024).

1.1.1.3. Importancia Alimentaria y Económica del Cultivo

Abdullahi et al. (2021) afirman que el maní tiene un valor nutricional muy alto debido a su contenido de proteínas, grasas insaturadas, carbohidratos, fibras, vitaminas y minerales. Los cacahuetes contienen niveles de proteínas entre el 23 y el 26%, y también se ha encontrado que tienen altos niveles de aceites ricos en ácidos grasos insaturados. Por otro lado, Torres et al. (2024) dicen que además de su valor nutricional, el cultivo también es valioso económicamente porque se utiliza en las industrias de aceite, harina, productos procesados y alimentos balanceados. Además, los autores señalan que está asociado con la producción de nitrógeno para mejorar la fertilidad del suelo y la sostenibilidad agrícola a través de su capacidad de fijación de nitrógeno.

1.1.1.4. Producción de maní en Ecuador

En Ecuador, el cultivo de maní se desarrolla principalmente en regiones de la Costa y en ciertas zonas tropicales de la Amazonía, donde la provincia de Manabí constituye una de las principales zonas productoras (Blacio et al., 2020).

En la Amazonía ecuatoriana, el maní representa una alternativa agrícola de importancia para pequeños productores debido a su valor nutricional y potencial económico, donde las condiciones climáticas de la región favorecen el desarrollo vegetativo del cultivo (Montesdeoca et al., 2024). En este sentido, Vizuete-Montero et al. (2026) señalan que la provincia de Napo presenta condiciones tropicales que permiten el establecimiento de sistemas agrícolas diversificados donde el maní puede integrarse como cultivo alimentario y comercial.

Sin embargo, la producción nacional enfrenta limitaciones relacionadas con el manejo agronómico, fertilidad del suelo y condiciones topográficas, factores que influyen tanto en el rendimiento como en la calidad nutricional del grano (Sánchez-Capa et al., 2023).

1.1.2. Composición química y nutricional del maní

Canudo et al. (2022) mencionan que el maní es reconocido por su elevado valor nutricional y energético debido a su importante contenido de macro y micronutrientes; sus semillas contienen proteínas, grasas saludables, carbohidratos, fibra dietética, vitaminas y minerales, convirtiéndolo en un alimento funcional con potencial para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional.

El maní tiene un alto contenido de proteínas, que generalmente oscila entre el 23% y el 30% dependiendo de las condiciones de producción y cultivo. Las proteínas de los cacahuetes contienen aminoácidos esenciales y se utilizan en harinas, suplementos y productos alimenticios con un alto valor nutricional (de Oliveira et al., 2021).

El contenido proteico del maní puede variar en respuesta a las condiciones ambientales y a la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Entre estos, el nitrógeno desempeña un papel fundamental en la síntesis de aminoácidos y proteínas, mientras que el azufre participa en

la formación de aminoácidos azufrados y otros compuestos esenciales para el metabolismo vegetal. Por tanto, las condiciones de fertilidad del suelo pueden incidir tanto en el desarrollo del cultivo como en determinadas características de la composición química del grano (Sánchez-Capa et al., 2023).

Por otro lado, Herrera et al. (2024) señalan que el maní se caracteriza por su elevado contenido de lípidos, que puede representar aproximadamente entre el 40 y el 50 % de la semilla. Dentro de esta fracción lipídica predominan los ácidos grasos insaturados, particularmente los ácidos oleico y linoleico, cuyo consumo se ha asociado con efectos favorables sobre la salud cardiovascular. Estos componentes deben diferenciarse del contenido proteico del grano, debido a que proteínas y lípidos constituyen fracciones nutricionales independientes.

Además, el maní tiene cantidades modestas de carbohidratos y son una fuente importante de fibra dietética. En este contexto, los productos derivados del cacahuete pueden utilizarse en la formulación de alimentos como un equilibrio de proteínas, grasas y fibra de una manera no trivial en la que tienen propiedades funcionales basadas en proteínas, grasas y compuestos bioactivos (Caudo et al., 2022).

Así, el maní también es buenas fuentes de vitaminas y minerales. La vitamina E, las vitaminas del complejo B, el calcio, el fósforo, el hierro, el potasio, el zinc y el magnesio son los micronutrientes más importantes que tienen roles fisiológicos en el metabolismo energético, la formación de tejidos y la actividad antioxidante (Valdivieso et al., 2021).

1.1.3. Factores que Influyen en la Composición Nutricional del Maní

La calidad química y nutracéutica del maní no es fija, sino que se ve modificada por el cruce genético y el entorno durante el crecimiento. Diferentes linajes tienen diferentes proteínas, grasas, azúcares y sustancias bioactivas en su composición, y las condiciones climáticas

como el calor, la luz solar y el agua son todas variables que afectan el metabolismo y cómo los nutrientes se transfieren de la planta a la semilla. Todos estos factores contribuyen al carácter nutricional y la calidad del grano y la forma en que el grano se procesa y consume de diferentes maneras (Tang et al., 2025).

Las condiciones de almacenamiento post-cosecha también afectan la calidad del cacahuete. La temperatura, la humedad relativa y el tiempo de almacenamiento pueden impactar las propiedades nutricionales y fisicoquímicas. En particular, el contenido de lípidos y la estabilidad del grano pueden verse afectados por procesos de oxidación y deterioro, reduciendo su calidad y vida útil. Por lo tanto, es necesario mantener condiciones de almacenamiento adecuadas para preservar las características del producto y asegurar su valor nutricional (Qu et al., 2022).

Las investigaciones previas evidencian que la composición del maní responde de manera diferenciada a las condiciones ambientales. Por ejemplo, estudios experimentales sobre estrés por temperatura y déficit hídrico han identificado modificaciones en algunos componentes de las semillas, particularmente en los carbohidratos, mientras que las concentraciones de proteína y aceite no siempre presentan cambios significativos. Estos resultados muestran que la respuesta nutricional del maní depende tanto del componente evaluado como de la intensidad y duración del estrés ambiental, por lo que no todos los parámetros nutricionales responden de igual manera ante variaciones del ambiente.

De forma complementaria, las propiedades edáficas constituyen un mecanismo mediante el cual las condiciones ambientales pueden afectar indirectamente al cultivo. La disponibilidad de agua, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos condiciona el crecimiento, la formación de vainas y la acumulación de biomasa. En consecuencia, las modificaciones ambientales que alteran la fertilidad o la disponibilidad hídrica del suelo pueden repercutir sobre el rendimiento y, potencialmente, sobre la composición química del grano.

Entre los factores topográficos, la pendiente adquiere especial importancia porque modifica la dinámica del agua y de los nutrientes en el suelo. Las pendientes de mayor inclinación pueden favorecer la escorrentía y la erosión, mientras que las posiciones de menor pendiente o las zonas de acumulación pueden presentar condiciones diferentes de humedad y fertilidad. Sin embargo, una limitación recurrente de las investigaciones disponibles es que gran parte de ellas analiza el efecto de la topografía sobre las propiedades del suelo o el rendimiento de diferentes cultivos, mientras que son menos frecuentes los estudios que relacionan directamente la pendiente con la composición nutricional de *Arachis hypogaea* L.

En este contexto, las investigaciones coinciden en reconocer que las características ambientales, edáficas y topográficas intervienen en el funcionamiento del sistema suelo–planta; no obstante, difieren en las variables analizadas, los cultivos estudiados, las condiciones climáticas y los diseños experimentales utilizados. La tendencia general muestra que la topografía puede generar heterogeneidad espacial en la fertilidad del suelo y en la productividad agrícola, pero persiste un vacío respecto a si estas modificaciones se traducen en cambios significativos en la composición nutricional del maní bajo condiciones amazónicas. Este vacío sustenta la necesidad de evaluar conjuntamente suelo, pendiente, rendimiento y composición nutricional en las condiciones particulares de Casa Ingaru, Tena.

La influencia de la pendiente también debe considerarse en relación con el rendimiento agrícola. Las variaciones topográficas modifican propiedades físicas y químicas del suelo y pueden generar diferencias en la disponibilidad de nutrientes y agua para los cultivos. Estudios desarrollados a lo largo de secuencias topográficas han encontrado diferencias en el rendimiento y la biomasa entre posiciones de pendiente, asociadas principalmente con cambios en pH, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo disponible y otras propiedades edáficas. Sin embargo, la respuesta del rendimiento no depende exclusivamente de la inclinación, sino también del manejo del suelo, el cultivo, las condiciones climáticas y la

posición dentro de la pendiente, por lo que los efectos observados no pueden generalizarse directamente a todos los sistemas agrícolas. (Adiku et al., 2021).

Por otro lado, la erosión del suelo es uno de los principales efectos asociados con terrenos inclinados porque las partículas del suelo se desprenden y son transportadas por el agua o el viento, causando pérdida de materia orgánica y nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos (Mulualem et al., 2021). Los suelos con altas tasas de erosión son física, química y biológicamente más pobres que otros, lo que lleva a una menor productividad agrícola.

Además, en la pendiente, el agua fluye más rápido sobre la superficie de la tierra, y en suelos más inclinados, el agua de lluvia tiende a moverse rápidamente, aumentando la escorrentía superficial y disminuyendo la infiltración en capas más profundas del suelo (FAO, 2021). Este efecto promueve el arrastre de sedimentos y nutrientes, causando pérdidas de nitrógeno, fósforo y potasio, que son componentes esenciales para la fertilidad del suelo (Jiménez et al., 2021).

La capacidad de retención de humedad del suelo también puede verse afectada por la pendiente, donde en terrenos inclinados, el agua permanece menos tiempo sobre la superficie, reduciendo la infiltración, la disponibilidad hídrica y la absorción de nutrientes por parte de los cultivos (Strahlhofer et al., 2021).

1.1.3.1. Influencia de la pendiente en la fertilidad del suelo

La pendiente constituye uno de los factores topográficos que regulan la distribución espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo. A medida que aumenta la inclinación del terreno pueden intensificarse procesos como la escorrentía superficial y la erosión hídrica, favoreciendo el transporte de partículas finas, materia orgánica y nutrientes desde determinadas posiciones de la ladera hacia zonas de acumulación. En consecuencia,

diferentes posiciones y grados de pendiente pueden presentar condiciones contrastantes de fertilidad, humedad y disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

Mulualem et al. (2021) señalan que la fertilidad del suelo puede verse afectada por la pendiente debido a la pérdida progresiva de materia orgánica y nutrientes ocasionada por la erosión y la escorrentía. Estos procesos pueden modificar indicadores de calidad edáfica como el carbono orgánico, la biomasa microbiana, la estabilidad estructural y la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, la relación entre mayor pendiente y menor fertilidad no debe considerarse uniforme, puesto que intervienen otros factores como la cobertura vegetal, el uso del suelo, la intensidad de las precipitaciones, la posición topográfica y las prácticas de manejo.

Las investigaciones realizadas en secuencias topográficas muestran precisamente esta variabilidad. En las tierras altas del sur de Etiopía se encontraron diferencias significativas en propiedades físicas y químicas del suelo entre posiciones superiores, medias e inferiores de la pendiente. El fósforo disponible alcanzó valores superiores en posiciones bajas, mientras que la acidez intercambiable fue mayor en posiciones altas; además, el rendimiento y la biomasa del cultivo evaluado disminuyeron desde las posiciones inferiores hacia las superiores. Estos resultados evidencian que la topografía puede generar una redistribución espacial de nutrientes con consecuencias productivas, aunque el estudio se realizó en condiciones edafoclimáticas y cultivos diferentes al maní, lo que limita su extrapolación directa al contexto amazónico.

De manera similar, estudios desarrollados en sistemas agrícolas han registrado diferencias espaciales en carbono orgánico, nitrógeno y fósforo según la posición dentro de la pendiente. En algunos casos, las concentraciones de estos elementos han sido mayores en posiciones inferiores que en las superiores, lo que se relaciona con procesos de transporte y deposición de materiales. No obstante, otros estudios han encontrado patrones

diferentes para determinados nutrientes, demostrando que la posición topográfica interactúa con las características propias del suelo, la vegetación y el manejo agrícola.

La influencia de la topografía sobre el nitrógeno también ha sido documentada en ecosistemas tropicales. Investigaciones realizadas en bosques tropicales han identificado menor disponibilidad de nitrógeno en laderas pronunciadas en comparación con posiciones relativamente planas, relacionando esta diferencia con mayores pérdidas de suelo y materia orgánica mediante procesos erosivos. Este antecedente resulta relevante debido a que el nitrógeno participa en la síntesis de aminoácidos y proteínas vegetales, por lo que las modificaciones de su disponibilidad podrían tener implicaciones sobre el desarrollo y la composición química de los cultivos.

Investigaciones recientes también han demostrado que el gradiente de pendiente puede afectar de manera diferenciada a los nutrientes del suelo. Se han observado disminuciones del nitrógeno total y de la materia orgánica con el incremento de la inclinación, mientras que elementos como fósforo y potasio pueden presentar patrones de acumulación distintos dependiendo de la profundidad y la posición topográfica. Estos resultados indican que la pendiente no actúa de manera aislada, sino como parte de un sistema en el que interactúan erosión, deposición, infiltración, humedad, profundidad del suelo y manejo agrícola.

En relación específicamente con *Arachis hypogaea* L., en la comunidad de Atacapi, Tena, se ha planteado el estudio de la pendiente y de los parámetros edafológicos como factores potencialmente relacionados con la composición nutricional del maní. Este antecedente resulta particularmente relevante por desarrollarse en condiciones amazónicas próximas al contexto de la presente investigación y reconoce que las pendientes pueden modificar la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio mediante procesos de escorrentía y lixiviación. No obstante, la evidencia disponible continúa siendo limitada respecto a la magnitud de estas relaciones y a su efecto final sobre los diferentes componentes nutricionales del grano.

En síntesis, las investigaciones revisadas coinciden en que la pendiente puede modificar las propiedades del suelo mediante procesos de erosión, transporte, deposición y redistribución de nutrientes. Las principales diferencias entre los estudios se relacionan con los cultivos evaluados, las categorías de pendiente, las condiciones climáticas, la profundidad de muestreo y las variables edáficas consideradas. Asimismo, una limitación común es que numerosos trabajos se concentran en las propiedades del suelo o en el rendimiento, sin determinar simultáneamente si las variaciones topográficas se reflejan en la composición nutricional del producto cosechado. Por ello, persiste un vacío de conocimiento respecto a la relación entre pendiente, fertilidad del suelo, rendimiento y composición nutricional del maní en sistemas agrícolas de la Amazonía ecuatoriana, aspecto que justifica la presente investigación en Casa Ingaru, Tena.

1.1.4. Influencia de la topografía en las propiedades del suelo

La topografía comprende diferentes características del relieve, entre ellas la pendiente, la posición topográfica, la orientación y la elevación, las cuales pueden modificar la distribución espacial de las propiedades del suelo. Dentro de estos componentes, la pendiente resulta particularmente relevante para la presente investigación, debido a que su grado de inclinación condiciona procesos como la infiltración, la escorrentía superficial, la erosión y el transporte y deposición de sedimentos y nutrientes. Rayo-Álvarez et al. (2022) señalan que estos procesos generan heterogeneidad en las propiedades físicas y químicas del suelo y, consecuentemente, pueden condicionar el desarrollo y la productividad de los cultivos.

Asimismo, los autores mencionan que, en sistemas agrícolas tropicales, las pendientes pronunciadas favorecen la pérdida de nutrientes y materia orgánica debido a la acción del agua de lluvia, afectando la fertilidad del suelo y el crecimiento vegetal.

En este sentido, dentro de los ecosistemas amazónicos, la dinámica de nutrientes del suelo puede variar según las condiciones de cobertura vegetal y topografía, incidiendo sobre la productividad agrícola y el aprovechamiento de nutrientes por las plantas (Abril et al., 2023).

En general, la composición nutricional de los cultivos depende de características físicas y química del suelo, incluyendo: pH, textura, materia orgánica y concentración de macronutrientes, los cuales determinan la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y sintetizar compuestos esenciales (Rosas et al., 2024).

En consecuencia, en cultivos tropicales, la baja fertilidad y acidez de los suelos pueden limitar la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, afectando el crecimiento y calidad nutricional de los productos agrícolas (Briones et al., 2021).

Quezada et al. (2017) mencionan que la fertilidad del suelo constituye un factor fundamental en la calidad nutricional de los cultivos, ya que los nutrientes participan dentro de la síntesis de proteínas y carbohidratos presentes en las semillas y frutos. Asimismo, los autores señalan que la disponibilidad adecuada de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y materia orgánica, favorecen el crecimiento vegetal y la mejora de la calidad química de los cultivos tropicales.

Por el contrario, la degradación del suelo ocasionado por la erosión y pérdida de nutrientes puede reducir la productividad y alterar la composición nutricional de los cultivos (Alvarado-Ochoa et al., 2024).

1.1.4.1. Influencia de las Condiciones Edáficas sobre la Calidad del Maní

Las condiciones edáficas constituyen uno de los primordiales factores para determinar el rendimiento y calidad nutricional del Maní (*Arachis hypogaea L.)* Debido a que regulan la disponibilidad de agua, absorción de nutrientes y el desarrollo del sistema radicular (Pedelini, 2012). Para poder lograr un adecuado crecimiento de cultivo se recomienda poder establecerlo en suelo de texturas franca o Franco-arenosa, profundos, que se encuentren bien drenados y con una buena aireación, son características las cuales favorecen a la penetración de los gineóforos y a la formación de vainas. A su vez el pH óptimo oscila entre 5,8 y 6,5 presentando una disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio y otros nutrientes que son importantes para el cultivo (Pedelini, 2012). Cuando el pH marca valores superiores a siete llegan a disminuir su disponibilidad de micronutrientes como el zinc y el hierro llegando a afectar así el desarrollo del cultivo, la calidad del grano y la absorción de nutrientes (Gelaye & Luo, 2024).

En términos generales se recomienda mantener contenidos superiores al 2% ya que esto mejora la estructura del suelo, a la vez incrementa la capacidad de retención de humedad, favorece la actividad microbiana, aumenta disponibilidad de nitrógeno, incrementa la capacidad de retención de humedad, favorece la actividad microbiana y aumenta disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre. Dessalegn et al. (2024) evaluaron el efecto de la fertilización orgánica y mineral sobre el cultivo de maní y encontraron que la incorporación de estiércol, combinada con nutrientes minerales, favoreció el rendimiento del cultivo. En particular, la aplicación conjunta de 10 t ha^{-1} de estiércol, 92 kg P_2O_5 ha^{-1} y 100 kg K_2O ha^{-1} produjo rendimientos de aproximadamente 3,01 t ha^{-1} de vainas y 1,98 t ha^{-1} de semillas. Estos resultados evidencian que una adecuada disponibilidad de nutrientes en el suelo puede favorecer la productividad del maní; sin embargo, debido a que las condiciones edafoclimáticas y de manejo del estudio difieren de las existentes en la Amazonía ecuatoriana, sus resultados deben considerarse como un antecedente comparativo y no como una respuesta directamente extrapolable a Casa Ingaru.

La disponibilidad de los macronutrientes también influye directamente sobre la composición química y nutricional del maní. El calcio es considerado como el elemento más crucial durante la formación y llenado de vainas, debido a que estas absorben el nutriente directamente desde la zona superficial del suelo. Por ello, los programas de manejo recomiendan garantizar un correcto suministro de calcio mediante la aplicación de 175 a 200 kg ha^{-1} de yeso agrícola, especialmente en los suelos que se encuentran con una baja disponibilidad de este nutriente ya que esto incrementa la disponibilidad de calcio y azufre en el suelo llegando a mejorar altamente el rendimiento y la calidad de las vainas (Akashdeep Singh Brar, 2023). Por otro lado, dosis entre 30 y 40 kg P_2O_5 ha^{-1} promueven el crecimiento vegetativo y el rendimiento del cultivo, y cerca de 92 kg P_2O_5 ha^{-1} con fertilización orgánica de dipotasio conducen a un aumento (Kamal et al., 2023; Dessaleg as condiciones edáficas n et al., 2024).

Una vez establecidas las condiciones para el cultivo de maní, la pendiente del terreno es importante ya que contribuye a la conservación de estas propiedades. Donde las pendientes son altas, el escurrimiento superficial y la erosión hídrica aumentan a medida que se eliminan materia orgánica, fósforo, calcio y potasio, disminuyendo la fertilidad del suelo. Esto afecta los nutrientes de las plantas y el desarrollo de las raíces y afecta el llenado de las vainas, el contenido de proteínas y aceite, así como la calidad nutricional del grano.

En conjunto, los antecedentes revisados muestran que la composición nutricional y el rendimiento del maní dependen de la interacción entre factores genéticos, ambientales, edáficos y agronómicos. Las investigaciones coinciden en reconocer la importancia de la disponibilidad de agua y nutrientes, la materia orgánica, el pH y las condiciones climáticas; asimismo, la evidencia obtenida en diferentes sistemas agrícolas demuestra que la topografía, y particularmente la pendiente, puede modificar la distribución de estos recursos mediante procesos de erosión, escorrentía, infiltración y deposición. Sin embargo, existen diferencias metodológicas importantes entre los estudios en cuanto a cultivos, condiciones ambientales, categorías de pendiente, profundidad de muestreo y parámetros

analizados, lo que dificulta extrapolar directamente sus resultados. Además, mientras numerosos trabajos han evaluado los efectos de la pendiente sobre las propiedades del suelo y el rendimiento agrícola, son considerablemente menores las investigaciones que relacionan simultáneamente pendiente, características edáficas, rendimiento y composición nutricional de *Arachis hypogaea L.* Esta limitación es aún más evidente en la Amazonía ecuatoriana, por lo que resulta necesario generar evidencia bajo las condiciones particulares de Casa Ingaru, Tena.

1.2. Planteamiento del Problema

El maní (*Arachis hypogaea L*.) es una de las oleaginosas más importantes en términos de valor alimenticio y económico debido al alto contenido de proteínas, aceite y carbohidratos y se utiliza comúnmente para la producción alimentaria y agrícola también (Macias et al., 2024). (el producto del sector agrícola y agroindustrial). El rendimiento promedio del cultivo es de 1000 kg/ha, lo cual es menos que el potencial productivo entre 4000 y 5564 kg/ha bajo manejo técnico en la provincia de Guayas (Burgos et al., 2023).

Se ha demostrado que las cualidades nutricionales del maní no solo están asociadas con características genéticas, sino también con características edafoclimáticas, así como con el manejo agronómico del cultivo (Barreda et al., 2024). De esta manera, los parámetros físicos y químicos del suelo juegan un papel fundamental en la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de las raíces de las plantas, y la composición química y biológica de las plantas está influenciada por el pH y el calcio, fósforo y materia orgánica, que contribuyen al rendimiento de la planta y al contenido del grano (Lu et al., 2023).

La pendiente del terreno es entonces un factor de gran importancia en los sistemas agrícolas tropicales y amazónicos, e influye en procesos como la erosión, el escurrimiento, la retención de humedad, la acumulación de materia orgánica y la distribución de nutrientes en el suelo (Singh & Geneti, 2020). Esto significa que, en el suelo con diferentes porcentajes

de pendiente, las condiciones fisicoquímicas afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En el caso del maní, las variaciones de altitud y características del suelo condicionan la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo adecuado del cultivo (Hama-Ba et al., 2022). Sin embargo, existe poca información sobre cómo la pendiente afecta particularmente sobre las propiedades nutricionales del maní, en el contexto de la Región Amazónica Ecuatoriana.

En la Amazonía ecuatoriana, la producción de maní se plantea como una opción potencial para la diversificación agrícola, debido a su implementación tanto en sistemas de subsistencia como en esquemas productivos de pequeña escala (Vizuete-Montero et al., 2026). No obstante, a pesar de su importancia agrícola y alimentaria dentro de la región, no existen estudios a nivel local que determinen de qué manera la pendiente influye sobre parámetros nutricionales del maní.

Particularmente, el sector Casa Ingaru, perteneciente al cantón Tena, presenta variaciones topográficas de importancia dentro de las áreas destinadas al cultivo las cuales podrían influir dentro del perfil nutricional del maní producido. Por lo tanto, surge la necesidad de investigar la variación de las propiedades nutricionales del maní (*Arachis hypogaea L*.) en función de la pendiente, con la finalidad de generar información que contribuya al adecuado manejo del cultivo y al fortalecimiento de la producción agrícola en la región.

1.3. Justificación de la Investigación: influencia de la pendiente sobre el rendimiento y la composición nutricional del maní

La presente investigación se justifica por la necesidad de determinar si la pendiente del terreno se relaciona con variaciones en el rendimiento y la composición nutricional del maní (*Arachis hypogaea* L.) cultivado en Casa Ingaru, Tena. La pendiente constituye una variable topográfica que puede modificar la dinámica del agua y del suelo mediante procesos como

la escorrentía, la infiltración, la erosión y el transporte de sedimentos. Estos procesos pueden generar diferencias en propiedades edáficas como la materia orgánica, el pH, la humedad y la disponibilidad de nutrientes, creando condiciones distintas para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

La composición nutricional del maní no depende exclusivamente de la pendiente. Investigaciones previas señalan que también intervienen factores genéticos, ambientales y edáficos, entre ellos la temperatura, la disponibilidad de agua, las características del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Por esta razón, la pendiente no debe considerarse como un factor que modifica directamente y de manera aislada la composición del grano, sino como una característica del terreno que puede generar variaciones en las condiciones del suelo y, a través de ellas, relacionarse con la disponibilidad de recursos necesarios para el desarrollo de la planta y la acumulación de sus componentes nutricionales.

Asimismo, resulta necesario considerar el rendimiento del cultivo, debido a que las condiciones generadas a lo largo de una pendiente pueden modificar la disponibilidad de agua y nutrientes, el desarrollo radicular y la formación y llenado de las vainas. En terrenos con mayor inclinación, el incremento de la escorrentía y de los procesos erosivos puede favorecer la pérdida o redistribución de suelo y nutrientes, mientras que otras posiciones del terreno pueden presentar condiciones diferentes de acumulación. En consecuencia, el rendimiento puede presentar variaciones entre grados de pendiente; sin embargo, la magnitud de esta respuesta depende de las características edáficas, ambientales y de manejo de cada sistema agrícola. Esta relación requiere ser evaluada específicamente bajo las condiciones de Casa Ingaru.

Desde el ámbito científico, la investigación adquiere relevancia debido a que existe información limitada sobre la relación entre pendiente, propiedades del suelo, rendimiento y composición nutricional de *Arachis hypogaea* L. en la Amazonía ecuatoriana. Aunque estudios previos han analizado individualmente factores ambientales, edáficos y

topográficos asociados con el desarrollo de los cultivos, persiste la necesidad de evaluar de manera integrada cómo las diferencias de pendiente se relacionan con las condiciones del suelo y si estas se reflejan en variaciones productivas y nutricionales del maní.

Desde el punto de vista agrícola, los resultados permitirán generar información aplicable a las condiciones locales de producción, identificando si las diferencias de pendiente deben considerarse al momento de establecer y manejar el cultivo de maní. Esto puede contribuir a orientar decisiones relacionadas con la selección de áreas de cultivo, conservación del suelo y manejo de la fertilidad, especialmente en sistemas agrícolas establecidos sobre terrenos con pendientes variables.

En el ámbito ambiental, el estudio es pertinente porque los terrenos inclinados pueden presentar una mayor susceptibilidad a procesos de escorrentía y erosión, con la consecuente redistribución o pérdida de materia orgánica y nutrientes. Evaluar estas condiciones permite comprender mejor la relación entre el relieve y la calidad del suelo agrícola y aporta información para promover prácticas de manejo y conservación adaptadas a las características de los sistemas productivos amazónicos.

Finalmente, desde el ámbito socioeconómico, la generación de información sobre el rendimiento y la calidad nutricional del maní puede beneficiar a los productores de Casa Ingaru y de otras zonas con condiciones similares. El conocimiento obtenido permitirá disponer de evidencia local para orientar el manejo del cultivo y contribuir al aprovechamiento sostenible de las áreas agrícolas, considerando simultáneamente la productividad, la conservación del suelo y la calidad del producto obtenido.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Evaluar el efecto de la pendiente en el perfil físico químico inicial del suelo, el rendimiento y composición nutricional de *Arachis hypogaea L*. en las chacras ubicadas en Casa Ingaru-Tena.

1.4.2. Específicos

- Describir el perfil físico químico inicial del suelo en función de la pendiente en las chacras ubicadas en Casa Ingaru-Tena.
- Comparar la composición nutricional y el rendimiento de *Arachis hypogaea L.* entre diferentes pendientes en las chacras ubicadas en Casa Ingaru-Tena.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Lugar de estudio

La investigación se llevó a cabo en las fincas de Casa Ingaru en la provincia de Napo, Ecuador, en las coordenadas 0.94067° S y 77.84852° W. Esta área es parte del bioma amazónico ecuatoriano y tiene una temperatura media anual de aproximadamente 25 °C y una precipitación anual de 1,966 mm, favorable para el crecimiento de cultivos tropicales como el maní. El área de estudio presenta un relieve ligeramente ondulado, con pendientes variables, característico de la región amazónica ecuatoriana. Esta área fue penetrada por un sistema agrícola de amplio alcance en el cual el cacao *(Theobroma cacao L.),* el plátano *(Musa spp.)* y la yuca *(Manihot esculenta Crantz)* han sido los más comunes y son los que han mantenido el suelo saludable.

El área de estudio presentó cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo. Aproximadamente quince años atrás, el terreno fue destinado a actividades ganaderas mediante el establecimiento de pastizales. Posteriormente, tras el cese de esta actividad, el área experimentó un proceso de regeneración natural que dio lugar al desarrollo de vegetación secundaria con presencia de especies arbóreas nativas de la Amazonía. Aproximadamente quince años antes de la realización del estudio, el terreno fue reincorporado a actividades agrícolas mediante el establecimiento de cultivos tradicionales bajo prácticas de manejo empleadas por la comunidad Kichwa. Durante este periodo, el maíz (*Zea mays L.)* constituyó uno de los principales cultivos establecidos mediante prácticas agrícolas tradicionales.

Los restos de plantas después de la cosecha se dejaban en el suelo y los nutrientes se reutilizaban y se añadía material orgánico lentamente. En el período, la región fue gestionada con prácticas agrícolas ancestrales del pueblo Kichwa que se han utilizado para

salvaguardar los recursos naturales y la riqueza de la tierra. Estas prácticas incluyen elegir días para plantar según las fases lunares, mezclas de tabaco para el control de insectos, costumbres locales que se refieren localmente como "dietas de siembra" que preservan las fases naturales de la cosecha. Por otro lado, el campo se aseguró con esquemas de manejo ancestral (como largos períodos de descanso de la tierra, rotación de cultivos y protección de la vegetación circundante) que minimizaron el deterioro, mantuvieron la fertilidad y conservaron el método de cultivo.

2.1.1. Establecimiento de parcelas y determinación de la pendiente

Para el desarrollo del estudio se seleccionaron áreas representativas de las condiciones de pendiente presentes en el terreno, con el propósito de comparar dos rangos de inclinación. Se establecieron seis parcelas experimentales de 10 m × 7 m, tres replicas ubicadas en terrenos con pendientes de 20–30 % y tres replicas en terrenos con pendientes de 40–50 %, manteniendo una separación de 1,5 m entre las parcelas de cada zona (Anexo A).

Como parte del análisis de topografía del área estudiada, se midió la pendiente de cada parcela con un clinómetro (DQL-16B). En este caso, se colocaron verticalmente en el suelo dos palos de escoba rígidos de colores rojo y blanco en dos puntos de la parcela para proporcionar una línea de referencia para la medición (López, 2005).

Luego se realizó la alineación visual de los dos puntos y se tomó la lectura con el clinómetro (Herramientas de Soporte a las Decisiones HSD, 2021). El observador se colocó en un ángulo de modo que la parte superior de los dos palos pudiera verse en el visor del instrumento al mismo tiempo y se midió el valor del porcentaje de pendiente en grados (Herramientas de Soporte a las Decisiones HSD, 2021).

Esto se hizo en cada una de las seis parcelas en el área de estudio. Las tres parcelas en la zona alta tenían pendientes entre 20 y 30%, mientras que las de la zona baja tenían

pendientes entre 40 y 50%. Estos valores nos permitieron categorizar las parcelas según la pendiente y utilizar la pendiente para comparar la calidad del suelo y la calidad nutricional del maní (*Arachis hypogaea L.*).

2.1.2. Manejo agrícola del ensayo

Para mejorar la calidad del suelo, se aplicaron hojarasca y *Trichoderma sp*. para aumentar la materia orgánica y también la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo de cacahuetes (Romero & Loayza, 2023). Cuando el suelo fue acondicionado, se plantaron las semillas de la cepa nativa seleccionada y aprobada por por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

El proceso de siembra se basó en las prácticas ancestrales del pueblo Kichwa, especialmente en la técnica denominada “pajo”, una práctica tradicional transmitida de generación en generación que representa la conexión cultural y espiritual entre el agricultor y la tierra. La cual implicó el cumplimiento de ciertas restricciones por parte de la persona encargada de la siembra. Estas consistieron en evitar el contacto con carne cruda, así como el consumo de alcohol y medicamentos; además, en el caso de las mujeres, se evitó realizar esta labor durante el periodo menstrual. Asimismo, se respetó el calendario agrícola tradicional, realizando la siembra en días considerados favorables por el conocimiento local, particularmente durante la fase de luna llena, asociada ancestralmente con condiciones propicias para el establecimiento y desarrollo del cultivo.

Las semillas se sembraron manualmente (40 cm entre hileras y 20 cm entre plantas, dos semillas por sitio). Esto se hizo en las seis parcelas para tener la misma consistencia.

La cosecha se realizó entre los 120 y 140 días después de la siembra, cuando aproximadamente el 70 % de las vainas presentó características de madurez. En esta etapa, las plantas mostraron amarillamiento progresivo y pérdida parcial de las hojas, mientras

que las vainas adquirieron una tonalidad café, una cáscara endurecida y semillas completamente desarrolladas en su interior. Luego, las muestras se llevaron al laboratorio para evaluar el valor nutricional del maní *(Arachis hypogaea L.)*

2.1.3. Caracterización del suelo

2.1.3.1. Recolección de muestras de suelo

En nuestro muestreo de suelo, creamos la zona de estudio de la parte superior e inferior del terreno y las separamos por 200 m. En cada una de las zonas, hicimos tres parcelas de 10 m × 7 m con la misma distancia de 1.5 m entre ellas. La ubicación de cada parcela se registró con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) modelo Garmin GPSMAP con una precisión aproximada de ± 3-5 m. Dentro de la parcela, definimos un área de 2 m × 2 m y las muestras de suelo se recolectan en un patrón de zigzag con cinco submuestras en las esquinas y en el centro de esta área (Mendoza & Espinoza, 2017). Para evitar la contaminación de las muestras de suelo y minimizar el tamaño de la muestra, las dividimos en cuartos e hicimos una muestra compuesta para cada parcela (Sales et al., 2024). Además de esto, también se recolectaron muestras de suelo sin alterar utilizando cilindros de compactación. Para este propósito, se hicieron dos perforaciones en cada zona de estudio para insertar cilindros con un martillo y una tabla de protección (Mendoza & Espinoza, 2017). Finalmente, todas las muestras recolectadas fueron etiquetadas, clasificadas y almacenadas para ser utilizadas en el laboratorio para análisis, preservando los datos, su integridad y representatividad.

2.1.4. Análisis fisicoquímicos de suelo

2.1.4.1. Procesamiento de muestras de suelo

Preparar las muestras de suelo para análisis fisicoquímicos, se recolectaron aproximadamente 1 kg de suelo a una profundidad de 20 cm y 1 m del tronco de cada individuo, resultando en 20 kg de suelo. Las muestras fueron luego homogeneizadas mediante desagregación manual y martilleo para romper los agregados del suelo (Mendoza & Espinoza, 2017).

Se eliminaron piedras, raíces gruesas y otros residuos vegetales grandes de las muestras homogeneizadas. Luego, 500 g de suelo se dividieron en bandejas con lámina plástica para un grosor de menos de 15 mm y se secaron al aire en un ambiente controlado donde no hubo contaminación. El secado se realizó en un horno a una temperatura máxima de 40 ± 2 °C hasta que se logró una pérdida de masa de menos del 5% dentro de 24 horas (Sales et al., 2024).

Una vez secas, las muestras se tamizaron en una malla de 2 mm. Todo lo que no pasó por el tamiz se rompió en un mortero y se tamizó nuevamente (Mendoza & Espinoza, 2017). Durante esta fase, se eliminaron fragmentos de grava, raíces y otros materiales gruesos que podrían interferir con análisis posteriores. El suelo tamizado se homogeneizó y se almacenó en bolsas de plástico y se recolectó como muestra seca para análisis de laboratorio.

2.1.5. Determinación de materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica en el suelo se calculó aplicando el procedimiento de pérdida por ignición según lo indicado por Dhaliwal et al. (2019). La presencia de carbonatos en las partes analizadas se confirmó primero añadiendo unas gotas de ácido clorhídrico (HCl) a una pequeña cantidad de suelo seco. La reacción de burbujeo sugirió la presencia de

carbonatos y la falta de respuesta indicó que las muestras no contenían ninguna cantidad apreciable de ellos. Luego, se pesaron de 10 a 20 gramos de suelo, previamente secado a 40 ± 2 °C y tamizado a un grosor de menos de 2 mm.

Las muestras se colocaron en recipientes de vidrio o metal debidamente acondicionados y se secaron en estufa a 105 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante. Este criterio se consideró cumplido cuando la diferencia entre dos pesajes consecutivos, realizados con un intervalo de cuatro horas, fue inferior al 0,1 % de la masa registrada en el último pesaje. Finalizado el secado, los recipientes se retiraron de la estufa, se cubrieron inmediatamente y se colocaron en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, evitando así la absorción de humedad del entorno.

La masa seca inicial de cada muestra se midió con una balanza analítica. Luego, las muestras se colocaron en un horno de mufla y la temperatura se incrementó lentamente hasta 550 °C. Estas muestras permanecieron allí durante dos horas completas, que fue el tiempo necesario para oxidar toda la materia orgánica en el suelo. Después de eso, la temperatura del equipo cayó rápidamente a mucho menos de 200 °C antes de que las muestras fueran extraídas, y se hizo así para que no ocurrieran choques térmicos dañinos a los contenedores. Finalmente, las muestras se colocaron nuevamente en un desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiente normal. Luego, la masa final se registró en detalle.

La cantidad de materia orgánica se calculó en base a la diferencia entre la masa seca inicial y la masa después de la ignición, y el resultado se informó como un porcentaje de lo que se perdió por ignición.

2.1.6. Determinación de pH

La determinación del pH del suelo utilizando un medidor de pH digital Hanna previamente calibrado. Pesamos 20 g de suelo seco acondicionado a 40 °C y tamizado a un tamaño de

partícula de menos de 2 mm (USDA, 2023). La muestra se colocó en un recipiente adecuado y se añadió agua destilada (entre 20 y 25 °C). La relación suelo:agua fue de 1:2.5 (USDA, 2023).

La suspensión obtenida fue agitada vigorosamente durante cinco minutos con la ayuda de un agitador mecánico para favorecer la interacción entre el suelo y el agua. Posteriormente, la mezcla se dejó en reposo durante un período mínimo de una hora y no superior a 24 horas, con el fin de permitir la estabilización de la suspensión (USDA, 2023).
Una vez transcurrido el tiempo de reposo, la suspensión fue nuevamente agitada y se introdujeron los electrodos del pHmetro en la muestra. Después de aproximadamente un minuto de estabilización de la lectura, se registraron los valores de pH, sólidos disueltos totales (TDS) y conductividad eléctrica (CE), parámetros utilizados para evaluar las características químicas del suelo (USDA, 2023).

2.1.7. Determinación de densidad aparente (mg⁄m3) por método de cilindro

La densidad aparente del suelo fue determinada utilizando el método del cilindro de volumen conocido, fiel al procedimiento que describió USDA en 2023.

Los cilindros de acero, con un diámetro interno de 5.08 cm y una altura de 3.45 cm fueron empleados para el muestreo. Cada cilindro de dimensiones y su peso se registraron primero, utilizando un calibrador vernier y una balanza de precisión, esto fue con el objetivo de calcular su volumen interno y también su masa inicial. Se retiró la cobertura vegetal superficial con esmero en cada punto de muestreo, de esta manera evitamos la inclusión de residuos orgánicos que pudieran sesgar la determinación. Después, los cilindros se apilaron y una tabla se colocó sobre el cilindro superior, para así esparcir uniformemente la fuerza ejercida durante la inserción. Los cilindros se introdujeron en el suelo verticalmente hasta aproximarse los 20 cm de profundidad, esto se logró con golpes suaves y medidos con un combo.

Después de la inserción, los cilindros fueron extraídos con una pala y se mantuvieron para no afectar la estructura de la muestra. El exceso de suelo en todos los extremos tuvo que ser removido usando una hoja de cuchillo dentada hasta que el suelo estuviera perfectamente alineado con el perímetro del cilindro para asegurar que el material recolectado estuviera en el espacio interno del contenedor. Luego, los bordes fueron sellados con papel de aluminio para evitar cualquier fuga accidental de los componentes en el camino al laboratorio.

Todas las muestras se colocaron en bandejas de aluminio y se almacenaron en un horno de secado a 105°C durante 48 horas o hasta que el peso se estabilizara definitivamente. Después de secar los cilindros, se midió la masa total del cilindro y el suelo deshidratado en una balanza de alta precisión.

2.1.8. Determinación de Densidad Real

La densidad real del suelo se determinó usando el método del picnómetro, con base en el procedimiento sugerido por Huluka y Miller (2014) y ampliado por Owji et al. (2015).

Se emplearon muestras de suelo, secadas al aire antes, trituradas y pasadas por tamiz de menor tamaño que 2 mm, para el análisis. Se usaron picnómetros de volumen de 25 a 50 mL, balanza analítica con sensibilidad de 0,01 g, agua pura y bomba de vacío para suprimir aire atrapado en los suelos. Luego, al picnómetro se le aplicó vacío. El objetivo fue quitar el aire de los poros de esa muestra. Esto se hizo hasta que no salieron más burbujas. Terminada la desgasificación, se llenó el picnómetro hasta la marca de aforo, usando agua destilada.

Más tarde, la balanza analítica pesó otra vez el picnómetro con la muestra. También se anotó la masa. Usando estos datos, se pudo hallar la densidad verdadera del suelo. Esto se

hizo relacionando la masa seca de las partículas al volumen real de los sólidos. Se escribieron los resultados en g cm^{-3}.

2.1.9. Determinación de textura

La textura del suelo se determinó mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos, el cual permite cuantificar las fracciones de arena, limo y arcilla a partir de la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión. Para el análisis se utilizaron muestras de suelo previamente secadas al aire y tamizadas, así como una probeta de 1000 mL, un hidrómetro, un termómetro, una batidora eléctrica, una balanza analítica y agua destilada. Inicialmente, se pesaron 50 g de suelo seco y tamizado, los cuales fueron colocados en un vaso de precipitación de 250 mL. Posteriormente, se añadieron 100 mL de agua destilada y 5 g de cloruro de sodio (NaCl) como agente dispersante. La mezcla fue homogeneizada y se dejó en reposo durante un período de 15 a 30 minutos para favorecer la dispersión de las partículas del suelo.

Transcurrido el tiempo de reposo, la suspensión fue transferida a un vaso dispersante y sometida a agitación mecánica mediante una batidora eléctrica durante 10 minutos. Posteriormente, la suspensión dispersada se trasladó a una probeta de 1000 mL y se completó el volumen con agua destilada hasta la marca de aforo.

A continuación, se retiró el hidrómetro y la suspensión fue agitada manualmente durante 30 a 60 segundos utilizando una varilla metálica, realizando entre 20 y 30 movimientos de agitación para garantizar una distribución uniforme de las partículas. Veinte segundos después de finalizada la agitación, el hidrómetro fue introducido cuidadosamente en la probeta y se efectuó la primera lectura a los 40 segundos. Seguidamente, se retiró el hidrómetro y se registró la temperatura de la suspensión mediante un termómetro para realizar las correcciones correspondientes.

Finalmente, la suspensión permaneció en reposo durante dos horas, tras lo cual se realizó una segunda lectura con el hidrómetro siguiendo el mismo procedimiento. Los valores obtenidos fueron utilizados para calcular los porcentajes de arena, limo y arcilla, permitiendo la clasificación textural de las muestras de acuerdo con el triángulo textural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

2.1.10. Análisis de muestras con el espectrómetro de fluorescencia de rayos X

La composición elemental de las muestras fue determinada mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF). Previamente al análisis, las muestras fueron sometidas a un proceso de acondicionamiento de acuerdo con sus características físicas (Vela et al., 2012). En el caso de las muestras de suelo, estas fueron secadas a una temperatura inferior a 60 °C, posteriormente homogeneizadas y tamizadas a un tamaño de partícula menor a 2 mm, con el fin de garantizar la uniformidad y representatividad del material analizado.

Una vez realizado el pretratamiento, las muestras fueron colocadas en copas específicas para análisis por fluorescencia de rayos X y recubiertas con una película protectora (*film*) adecuada para los elementos de interés. Posteriormente, las copas fueron ubicadas en el compartimento de análisis del espectrómetro (Vela et al., 2012).

Antes de iniciar las mediciones, se verificó el correcto funcionamiento del equipo mediante los procedimientos de control establecidos por el laboratorio. A continuación, se seleccionó en el software el método analítico correspondiente (AGV-2), así como las unidades de reporte de los resultados (% o ppm), registrándose además la información de identificación de cada muestra (Vela et al., 2012).

Posteriormente, se cerró el compartimento de análisis y se inició la medición mediante la emisión controlada de rayos X. Todas las determinaciones fueron realizadas por personal capacitado y autorizado para el manejo de equipos que emiten radiaciones ionizantes,

cumpliendo con las normas de seguridad establecidas para este tipo de análisis (Huluka & Miller, 2014).

Una vez finalizado el tiempo de exposición, los resultados obtenidos fueron visualizados en el software del equipo y posteriormente exportados en formato digital para su procesamiento e interpretación. Los datos generados permitieron determinar la concentración de los elementos presentes en las muestras de suelo, expresándose los resultados en porcentaje (%) o partes por millón (ppm), según el elemento analizado (Huluka & Miller, 2014).

2.1.11. Análisis de nitrógeno total en muestras de suelo

El contenido de nitrógeno total del suelo se determinó mediante el método de Kjeldahl, que comprende las etapas de digestión, destilación y cuantificación espectrofotométrica. Previamente al análisis, las muestras de suelo fueron acondicionadas mediante secado, molienda y tamizado para garantizar su homogeneidad (Greenfield & Southgate, 2003). Para la etapa de digestión, se pesó aproximadamente 1,00 g de muestra y se transfirió cuantitativamente a un tubo de digestión Kjeldahl. Posteriormente, se añadieron 5,00 g de sulfato de potasio (K_2SO_4) como catalizador, dos perlas de vidrio, 2,5 mL de solución oxidante, 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y cinco gotas de agente antiespumante (Greenfield & Southgate, 2003).

La digestión se realizó en un bloque digestor Kjeldahl programado con incrementos progresivos de temperatura hasta alcanzar 400 °C, manteniéndose durante un tiempo total de 2 h 30 min. Durante este proceso, la materia orgánica presente en la muestra fue oxidada y transformada en formas inorgánicas de nitrógeno (Greenfield & Southgate, 2003). La digestión se consideró completa cuando la solución adquirió una coloración verde brillante y una apariencia transparente. Posteriormente, los tubos fueron retirados del digestor y enfriados a temperatura ambiente.

Para la etapa de destilación, se verificó previamente el correcto funcionamiento del equipo, incluyendo el suministro de agua destilada, solución alcalina y sistema de refrigeración. Una vez acondicionado el equipo, las muestras digeridas fueron sometidas a destilación automática mediante la adición de solución de hidróxido de sodio (NaOH), favoreciendo la liberación del amoníaco generado durante la digestión (Greenfield & Southgate, 2003). El amoníaco destilado fue capturado en una solución receptora de ácido bórico colocada en la salida del condensador (Greenfield & Southgate, 2003).

La cuantificación del nitrógeno se realizó mediante un método colorimétrico. Para ello, una alícuota del destilado fue diluida con agua tipo I y posteriormente se añadieron reactivos de fenol, nitroprusiato de sodio y solución oxidante para el desarrollo del color. La mezcla se homogeneizó y se dejó reaccionar durante al menos dos horas a temperatura ambiente (22–27 °C) y en condiciones de luz tenue (Greenfield & Southgate, 2003). Finalmente, la absorbancia de las muestras fue medida a una longitud de onda de 640 nm utilizando un espectrofotómetro.

La concentración de nitrógeno total se determinó a partir de los valores de absorbancia obtenidos, empleando las ecuaciones de calibración correspondientes. Los resultados fueron expresados en las unidades establecidas para el análisis y utilizados para evaluar el contenido de nitrógeno presente en las muestras de suelo (Greenfield & Southgate, 2003).

2.1.12. Recolección de la muestra de plantas de Arachis hypogaea L.

La recolección de las muestras se realizó cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica, correspondiente al estado R8 de la escala fenológica de Boote (1982). Este estado se reconoció por el desarrollo completo de las vainas, la madurez fisiológica de las semillas y la coloración marrón oscura a negra en la superficie interna de las cáscaras. La cosecha se efectuó a los 131 días después de la siembra, momento en el que al menos el 70

% de las vainas presentó las características establecidas para la madurez comercial. Previo a la realización de los análisis, se gestionó y obtuvo el permiso correspondiente, según se detalla en el Anexo E.

Después de esto, las plantas se retiraron manualmente del suelo en cada parcela experimental cuidando no dañar las vainas. A continuación, se limpió con cuidado la tierra pegada a las raíces y frutos sacudiéndose suavemente. Se separaron las vainas manualmente y se ordenaron por parcela. El material recolectado se pesó con una balanza digital para anotar el rendimiento de cada unidad experimental, como hicieron (Wubie y Assen 2020).

2.1.13. Análisis nutricional

Para realizar el análisis nutricional, las muestras de maní provenientes de las seis parcelas experimentales fueron sometidas a un proceso de secado en un deshidratador a una temperatura de 70 °C durante 24 horas (Zagal & Sadzawka, 2007). Este procedimiento permitió reducir el contenido de humedad de las muestras y facilitar la separación de la cascarilla.

Una vez finalizado el secado, se procedió al descascarado manual de los granos. Posteriormente, las muestras de cada parcela, previamente seleccionadas y clasificadas, fueron molidas de forma individual hasta obtener un polvo fino y homogéneo (Zagal & Sadzawka, 2007). Finalmente, las muestras molidas fueron almacenadas en recipientes adecuados para su posterior análisis nutricional (Villaseñor,2016).

2.1.14. Determinación de humedad

El contenido de humedad de las muestras se determinó mediante el método gravimétrico por secado en estufa. Para ello, se pesaron 5 g de muestra previamente molida y homogeneizada. Antes del análisis, los crisoles fueron acondicionados en una estufa a 105

°C durante una hora con el fin de eliminar cualquier rastro de humedad y obtener su masa constante (Villaseñor, 2016).

La recolección de las muestras se realizó cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica, correspondiente al estado R8 de la escala fenológica de Boote (1982). Este estado se reconoció por el desarrollo completo de las vainas, la madurez fisiológica de las semillas y la coloración marrón oscura a negra en la superficie interna de las cáscaras. La cosecha se efectuó a los 131 días después de la siembra, momento en el que al menos el 70 % de las vainas presentó las características establecidas para la madurez comercial.

Una vez finalizado el secado, los crisoles fueron retirados de la estufa y colocados en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, evitando así la absorción de humedad del entorno. Finalmente, las muestras secas fueron pesadas en una balanza analítica y los datos obtenidos se utilizaron para calcular el porcentaje de humedad mediante la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra (Villaseñor, 2016; Huluka y Miller, 2014).

2.1.15. Determinación de cenizas

El contenido de cenizas se determinó mediante el método de calcinación en mufla. Previamente al análisis, los crisoles fueron acondicionados mediante calentamiento en una mufla a 550 °C durante una hora, con el fin de eliminar posibles residuos e impurezas. Posteriormente, los crisoles fueron retirados y enfriados en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente.

A continuación, se pesó 5 g de muestra seca, obtenida previamente del análisis de humedad, y se colocó en el crisol previamente calcinado y tarado. El conjunto crisol-muestra fue pesado y posteriormente introducido en la mufla, donde se sometió a una temperatura de 550 °C durante 3 horas para lograr la combustión completa de la materia orgánica presente en la muestra (Zagal y Sadzawka, 2007).

Una vez finalizado el proceso de calcinación, los crisoles fueron retirados cuidadosamente de la mufla y se dejaron enfriar parcialmente antes de ser colocados en un desecador para evitar la absorción de humedad ambiental (Villaseñor, 2016). Finalmente, los crisoles que contenían las cenizas resultantes fueron pesados en una balanza analítica, registrándose la masa final utilizada para calcular el porcentaje de cenizas presente en la muestra.

2.1.16. Determinación de lípidos

El contenido de grasa cruda se determinó mediante el método de extracción continua con éter de petróleo utilizando un equipo Soxhlet. Previamente al análisis, el balón de extracción de 500 mL fue acondicionado en una estufa a 60 °C durante una hora para eliminar cualquier rastro de humedad. Posteriormente, se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente y se registró su masa utilizando una balanza analítica con precisión de gramos. A continuación, se pesó 2 g de muestra seca, obtenida previamente en la determinación de humedad, y se colocó en un papel filtro acondicionado en forma de sobre. La muestra fue introducida en la unidad de extracción y conectada a un balón que contenía 250 mL de éter de petróleo como solvente extractor (Vela et al., 2012).

La extracción se realizó mediante calentamiento controlado del sistema, ajustando la temperatura entre 50 a 60 °C para obtener aproximadamente seis ciclos de reflujo por hora. El proceso se mantuvo durante seis horas, tiempo suficiente para garantizar la extracción de los lípidos presentes en la muestra (Vela et al., 2012).

Una vez concluida la extracción, el éter de petróleo fue recuperado mediante evaporación utilizando un rotavapor. Posteriormente, el balón que contenía el extracto lipídico fue colocado en una estufa durante cinco horas para eliminar completamente los residuos del solvente. Finalizado este proceso, el balón fue enfriado hasta alcanzar temperatura ambiente y posteriormente pesado con precisión analítica.

La diferencia de masa obtenida permitió determinar el contenido de grasa cruda de la muestra, expresado como porcentaje en base seca. Finalmente, el residuo desengrasado resultante fue conservado para su posterior utilización en la determinación de fibra cruda (Villaseñor, 2016).

2.1.17. Determinación de fibra

El contenido de fibra cruda se determinó utilizando la muestra desengrasada obtenida previamente durante el análisis de lípidos, siguiendo el principio del método oficial AOAC 962.09 para la determinación de fibra cruda, con adaptaciones al analizador de fibra FIWE empleado en el laboratorio (AOAC, 2023).

Para esto, se pesó 1 g de muestra seca y desgrasada y se colocó en cada uno de los crisoles de digestión del analizador de fibra FIWE. Luego se añadieron 150 mL de solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a cada tubo de digestión y se inició la digestión ácida durante 30 minutos bajo las condiciones de operación.

Una vez completada la digestión, lavamos el efluente con 150 mL de agua tipo I durante 30 minutos para eliminar los residuos de ácido. En este momento añadimos 150 mL de solución de hidróxido de sodio (NaOH) y se completó la digestión alcalina durante 30 minutos bajo las mismas condiciones. Después de la digestión, realizamos dos lavados consecutivos con 150 mL de agua tipo I para eliminar todos los reactivos restantes.

Después de los lavados, recogimos muestras del efluente de cada tubo de digestión y probamos su pH usando un potenciómetro. Retiramos los crisoles solo cuando el efluente alcanzó un pH cercano a 7 para neutralizar todas las soluciones utilizadas en la digestión. Después del secado, se transfirieron a un desecador hasta que alcanzaron la temperatura

ambiente y luego se pesaron. Finalmente, los crisoles se colocaron en un horno mufla a 500 °C durante 3 horas y se realizó la calcinación del residuo orgánico.

Una vez hecho esto, se dejaron enfriar en un desecador durante aproximadamente 1 hora y se realizó el pesaje final. El contenido de fibra cruda se calculó como la diferencia entre el peso del residuo seco (después de la digestión) y el peso de las cenizas restantes (después de la calcinación) y se expresó como un porcentaje del material crudo con respecto al peso original de la muestra (AOAC, 2023).

2.1.18. Diseño del estudio

El estudio se desarrolló mediante un enfoque comparativo de campo orientado a evaluar la variación de las propiedades del suelo, la producción y la composición del maní (*Arachis hypogaea L.)* bajo dos condiciones naturales de pendiente. El factor de comparación correspondió a la pendiente del terreno, diferenciándose una condición de 20–30 % y otra de 40–50 %. En cada condición se establecieron tres parcelas, para un total de seis unidades de estudio.

La parcela constituyó la unidad experimental para los análisis comparativos. Las mediciones o determinaciones analíticas realizadas sobre muestras procedentes de una misma parcela fueron consideradas réplicas técnicas cuando correspondió y no se trataron como unidades experimentales independientes. Para los análisis estadísticos, los valores obtenidos a partir de estas determinaciones se resumieron a nivel de parcela, evitando incrementar artificialmente el tamaño de muestra mediante pseudorreplicación.

La asignación aleatoria de las condiciones de pendiente no fue aplicable, debido a que estas correspondieron a características topográficas preexistentes del área de estudio y no a tratamientos que pudieran ser asignados experimentalmente a las parcelas. Por esta razón, el estudio no correspondió a un diseño experimental completamente aleatorizado en sentido estricto, sino a una comparación entre condiciones naturales de campo. Las

parcelas se consideraron unidades de observación separadas dentro de cada condición de pendiente; sin embargo, debido al reducido número de unidades (n = 3 por pendiente) y a su pertenencia a un mismo sitio de estudio, los resultados se interpretaron a escala local y no como evidencia de una relación causal generalizable entre la pendiente y las variables evaluadas.

2.1.19. Análisis estadístico

Los datos obtenidos para las propiedades físicas y químicas del suelo, la producción y la composición del maní (*Arachis hypogaea L.)* fueron organizados y analizados mediante el software R, utilizando RStudio como entorno de trabajo. Para cada variable se calcularon estadísticos descriptivos, principalmente la media y la desviación estándar, con el propósito de resumir la variabilidad observada entre las pendientes evaluadas.

Antes de realizar las comparaciones entre grupos, se evaluaron los supuestos requeridos para la aplicación de pruebas paramétricas. La normalidad de los datos se examinó mediante la prueba de Shapiro–Wilk, mientras que la homogeneidad de varianzas se verificó mediante la prueba de Levene. Se estableció un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, por lo que valores de $p < 0,05$ fueron considerados estadísticamente significativos.

Cuando los datos cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, las diferencias entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 % se evaluaron mediante la prueba *t* de Student para muestras independientes. Cuando se cumplió el supuesto de normalidad, pero se detectó heterogeneidad de varianzas, se utilizó la prueba *t* de Welch. Para las variables que no cumplieron los supuestos requeridos para las pruebas paramétricas, se empleó la prueba no paramétrica de Mann–Whitney–Wilcoxon para la comparación entre las dos pendientes. En el caso de las mediciones realizadas sobre las mismas unidades experimentales antes y después de la aplicación de los bioinsumos, se utilizaron pruebas para muestras relacionadas, seleccionando la prueba *t* pareada cuando se cumplieron los

supuestos de normalidad de las diferencias y la prueba de Wilcoxon para rangos con signo cuando estos no se cumplieron.

Además de la significancia estadística, se estimaron tamaños de efecto para valorar la magnitud de las diferencias observadas. Para las comparaciones paramétricas se utilizó Cohen's *d* y, para las comparaciones no paramétricas, el coeficiente de correlación biserial por rangos (*r*rb), según correspondiera. Debido al reducido número de unidades experimentales (n = 3 por pendiente), los resultados de las pruebas de normalidad y de significancia fueron interpretados con cautela, dando especial atención a los estadísticos descriptivos, los tamaños de efecto y las tendencias observadas, sin atribuir relevancia biológica únicamente a diferencias numéricas que no contaran con suficiente respaldo estadístico.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de las condiciones del área de estudio

3.1.1. Propiedades físicas del suelo

3.1.1.1. Densidad Aparente

Los valores de densidad aparente fueron normales tanto para pendiente (W = 0,8211; p = 0,1660) como para la pendiente fuerte (W = 0,9991; p = 0,9424). y entre los grupos (F = 0,217; p = 0,6656). La densidad aparente del suelo presentó diferencias numéricas entre las dos condiciones de pendiente evaluadas. En la pendiente moderada (20–30 %) se registró una media de 0,5110 ± 0,0407 g cm^{-3}, mientras que en la pendiente fuerte (40–50 %) la media fue de 0,4127 ± 0,0567 g cm^{-3} . no se evidenció una diferencia estadísticamente significativa (t = 2,4415; gl = 4; p = 0,0711). Sin embargo, el tamaño del efecto calculado mediante *d* de Cohen fue 1,99 (IC 95 %: −0,15 a 4,01), lo que indica una diferencia de gran magnitud entre las medias. Es por ello que, los datos muestran una tendencia hacia una menor densidad aparente en la pendiente fuerte, moderada (20–30 %) y la pendiente fuerte (40–50 %) se realizó mediante la prueba t de Student para muestras independientes. p = 0,071; d de Cohen = 1,99.

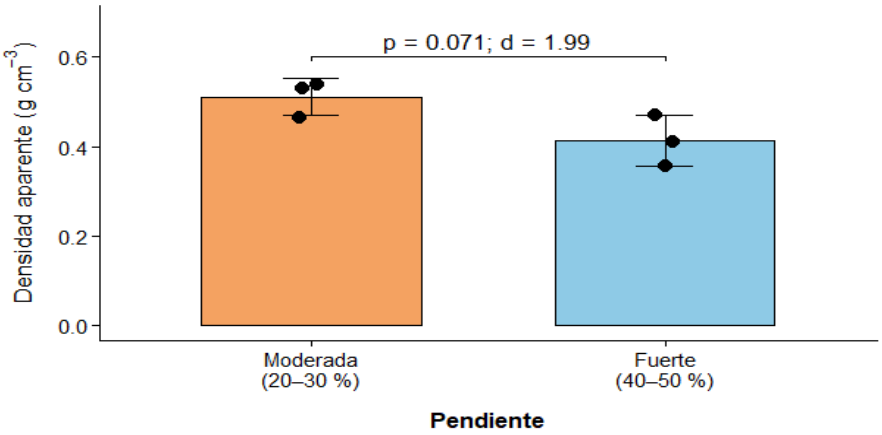


Figura 1. Densidad aparente del suelo en función de la pendiente.

Nota. Las barras representan la media ± desviación estándar (n = 3) y los puntos negros corresponden a los valores individuales de cada parcela. La comparación entre la pendiente

3.1.2. Densidad real

Los valores de densidad real presentaron una distribución normal tanto en la pendiente de 20–30 % (W = 0,7811; p = 0,0701) como en la pendiente fuerte de 40–50 % (W = 0,8280; p = 0,1832). La pendiente de 20–30 % registró una densidad real promedio de 2,0522 ± 0,4079 g cm^{-3}, mientras que en la pendiente de 40–50 % se obtuvo un promedio de 1,6469 ± 0,1452 g cm^{-3}, lo que representa un valor aproximadamente 19,7 % menor en la pendiente de mayor inclinación. Sin embargo, la comparación entre ambas pendientes no evidenció diferencias estadísticamente significativas (t = 1,621; gl = 4; p = 0,1803).

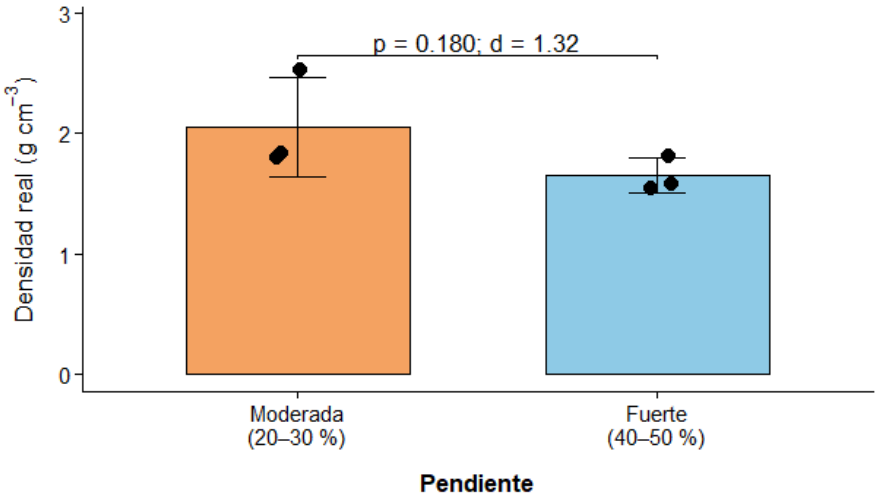


Figura 2. Densidad real del suelo según el grado de pendiente.

Nota. Las barras representan la media ± desviación estándar y los puntos negros corresponden a los valores individuales de las tres parcelas (n = 3). La comparación entre la pendiente moderada (20–30 %) y la pendiente fuerte (40–50 %) se realizó mediante una prueba *t* de Student para muestras independientes. *p* = 0,180; *d* de Cohen = 1,32.

3.1.2.1. Textura del suelo

La determinación de la textura del suelo mediante el método de Bouyoucos mostró una composición similar entre las dos pendientes evaluadas. La pendiente moderada (20–30 %) registró 55,12 % de arcilla, 38,88 % de arena y 6,00 % de limo, mientras que la pendiente fuerte (40–50 %) presentó 53,12 % de arcilla, 38,88 % de arena y 8,00 % de limo. Al representar estas proporciones en el triángulo textural (Figura 3), la intersección de las fracciones de arena, limo y arcilla se ubicó, en ambos casos, dentro de la clase textural arcilla. Aunque la pendiente moderada presentó una proporción ligeramente mayor de arcilla y la pendiente fuerte un mayor contenido de limo, estas variaciones no modificaron la clasificación textural. Por lo tanto, ambas pendientes presentaron suelos de textura arcillosa, con predominio de la fracción arcilla, que superó el 50 % de la composición total del suelo.

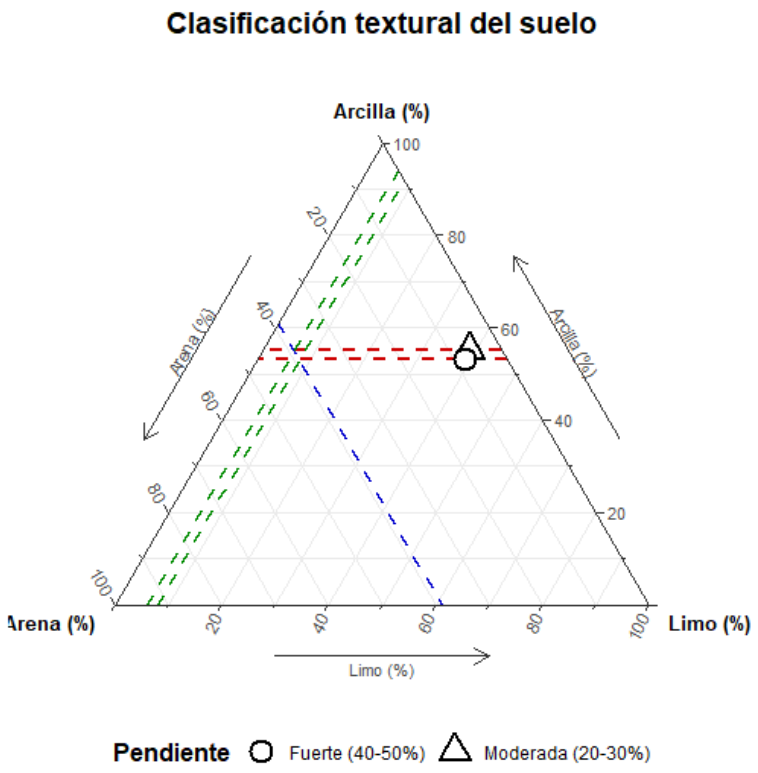


Figura 3. Clasificación textural del suelo en las pendientes moderada (20–30 %) y fuerte (40–50 %)

3.1.3. Propiedades Químicas del suelo

3.1.3.1. pH del suelo

Los parámetros fisicoquímicos medidos mediante sonda mostraron diferencias entre las zonas evaluadas (Tabla 1). El pH fue ácido en ambas zonas, con valores de 5,00 y 4,55 para la pendiente (20-30%) y la pendiente (40-50%), respectivamente. La conductividad eléctrica mostró valores bajos, alcanzando 30,7 µS/cm en la pendiente (20-30%) y 51,2 µS/cm en la pendiente (40-50%). Asimismo, los sólidos disueltos totales fueron mayores en la pendiente (40-50%) (35,1 mg/L) que en la pendiente (20-30%) (21,45 mg/L).

Los valores de pH obtenidos indican que los suelos de ambas zonas presentan una reacción ácida, característica común de los suelos amazónicos sometidos a altas precipitaciones y procesos intensos de lixiviación. La pendiente (40-50%) presentó un pH más ácido (4,55)

que la pendiente (20-30%) (5,00), lo que podría estar relacionado con el mayor contenido de materia orgánica registrado en dicha zona (27,82 %). Durante la descomposición de la materia orgánica se generan ácidos orgánicos que contribuyen a la disminución del pH del suelo (Crusciol y otros, 2021)

3.1.3.2. Materia Orgánica

Los valores de materia orgánica presentaron una distribución normal tanto en la pendiente moderada de 20–30 % (W = 0,7725; p = 0,0504) como en la pendiente fuerte de 40–50 % (W = 0,9045; p = 0,4000). El contenido promedio de materia orgánica fue de 21,35 ± 0,92 % en la pendiente de 20–30 % y de 28,12 ± 0,53 % en la pendiente de 40–50 %, siendo aproximadamente 31,7 % mayor en esta última. La comparación entre ambas pendientes evidenció una diferencia estadísticamente significativa, con mayor contenido de materia orgánica en la pendiente de 40–50 % (t = −11,043; gl = 4; p < 0,001).

Previo a la comparación, se verificaron los supuestos estadísticos. La prueba de Shapiro–Wilk no evidenció desviaciones significativas de la normalidad en la pendiente moderada (W = 0,7725; p = 0,0504) ni en la pendiente fuerte (W = 0,9045; p = 0,4000). Asimismo, la prueba de Levene indicó homogeneidad de varianzas (F = 0,1341; p = 0,7327). Con base en estos resultados, se aplicó una prueba *t* de Student para muestras independientes con varianzas iguales.

A diferencia de lo observado para las densidades aparente y real, el contenido de materia orgánica sí presentó una diferencia estadísticamente significativa entre las pendientes (t = −11,043; gl = 4; p < 0,001), con valores superiores en la pendiente fuerte. El tamaño del efecto fue muy elevado (|d| de Cohen = 9,02; IC 95 %: 2,88–15,23), evidenciando una marcada separación entre ambos grupos.

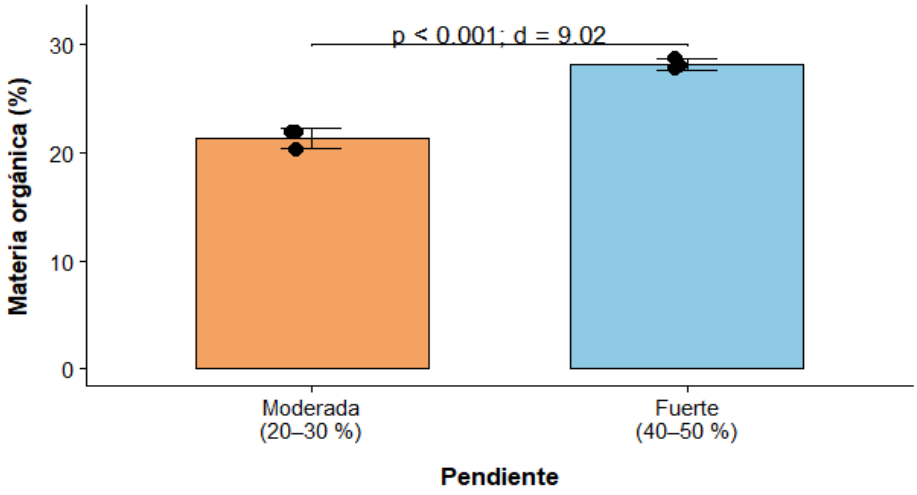


Figura 4. Contenido de materia orgánica del suelo según el grado de pendiente

Nota. Las barras representan la media ± desviación estándar y los puntos negros corresponden a los valores individuales de las tres parcelas (n = 3). La comparación entre la pendiente moderada (20–30 %) y la pendiente fuerte (40–50 %) se realizó mediante una prueba *t* de Student para muestras independientes. $p < 0{,}001$; *d* de Cohen = 9,02.

3.1.3.3. Nitrógeno Total

Los valores de nitrógeno total presentaron una distribución normal en ambas pendientes, tanto en la pendiente de 20–30 % (W = 0,9345; p = 0,2000) como en la pendiente de 40–50 % (W = 0,9971; p = 0,9000). La pendiente de 20–30 % registró un contenido promedio de 25 453,78 ± 7 128,34 mg kg^{-1}, mientras que en la pendiente de 40–50 % se obtuvo un promedio de 31 603,78 ± 659,97 mg kg^{-1}, correspondiente a un valor aproximadamente 24,2 % mayor en la pendiente de mayor inclinación. Sin embargo, la comparación entre ambas pendientes no evidenció diferencias estadísticamente significativas (U = 1,000; p = 0,200).

3.1.3.4. Composición Elemental mediante FRX

El análisis de fluorescencia de rayos X evidenció que los elementos minerales predominantes en el suelo fueron Si, Al y Fe, seguidos por Ca, Mg, K, Ti, Mn, S y P (Figura 5). El Si, presentó las concentraciones más altas en ambas pendientes evaluadas, registrándose el mayor valor promedio en la pendiente de 40–50 %, con 249140 ± 962 ppm, frente a 247770 ± 1577 ppm en la pendiente de 20–30 %. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 0,136). De igual manera, las concentraciones de Mg y K no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las pendientes (p > 0,05), lo que evidencia valores similares de estos elementos bajo las condiciones evaluadas.

En contraste, se encontraron diferencias significativas entre zonas para Al, Fe, P, S, Ca, Ti y Mn. La pendiente (20-30%) presentó mayores concentraciones de Al (93615 ± 708 ppm) y Fe (45689 ± 128 ppm) en comparación con la pendiente (40-50%), donde se registraron 85101 ± 735 ppm de Al y 40782 ± 79,6 ppm de Fe. Estas diferencias fueron altamente significativas ($p < 0,001$). De igual forma, el Ti fue mayor en la pendiente (20-30%) (4985 ± 58,1 ppm) que en la pendiente (40-50%) (4375 ± 62,1 ppm), también con diferencias significativas ($p < 0,001$).

Por otro lado, la pendiente (40-50%) presenta mayores concentraciones de P, S y Ca. El P aumentó de 304 ± 9,72 ppm en la pendiente (20-30%) a 359 ± 12,3 ppm en la pendiente (40-50%); el S pasó de 384 ± 37,6 ppm a 686 ± 36,2 ppm; y el Ca incrementó de 12162 ± 80,5 ppm a 12617 ± 55,3 ppm. Estas diferencias fueron significativas (p < 0,001), lo que sugiere una mayor acumulación de nutrientes en la pendiente (40-50%).

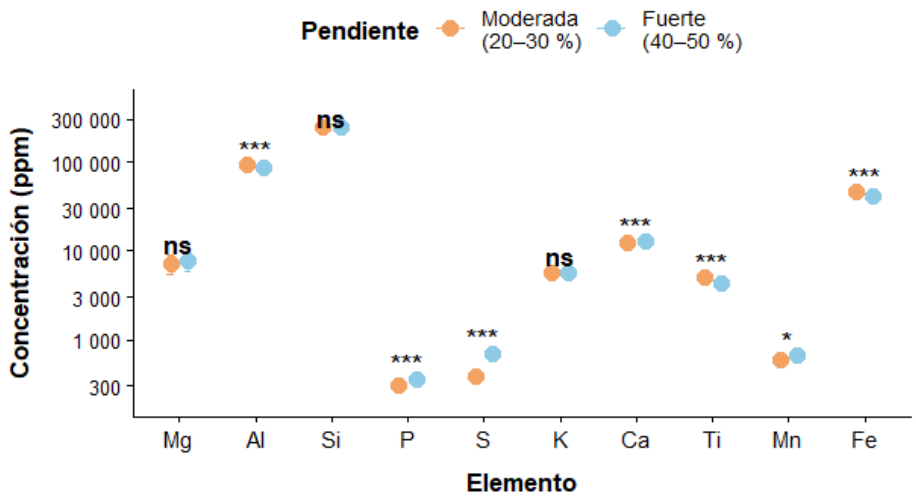


Figura 5. Composición elemental del suelo determinada mediante fluorescencia de rayos X (FRX) según el grado de pendiente.

Nota. Los puntos representan las concentraciones medias y las barras de error la desviación estándar (n = 3). El eje Y se presenta en escala logarítmica debido a las diferencias de magnitud entre las concentraciones de los elementos. ns: p > 0,05; *: p < 0,05; **: p < 0,01; ***: p < 0,001.

3.2. Producción del cultivo de maní

3.2.1. Producción obtenida durante la cosecha

La comparación del peso de las plantas de maní entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 % mostró valores similares entre ambos grupos. La prueba de Mann-Whitney no evidenció diferencias estadísticamente significativas (p = 1,000), lo que indica que, bajo las condiciones evaluadas, el peso de las plantas no presentó variaciones significativas

asociadas con la pendiente. Aunque en la pendiente de 40–50 % se observó una mayor dispersión de los datos, los valores de la media y la mediana fueron próximos a los registrados en la pendiente de 20–30 % (Figura 6).

En consecuencia, los resultados obtenidos no proporcionan evidencia estadística suficiente para afirmar que la pendiente influyó significativamente en el peso de las plantas de maní bajo las condiciones del presente estudio.

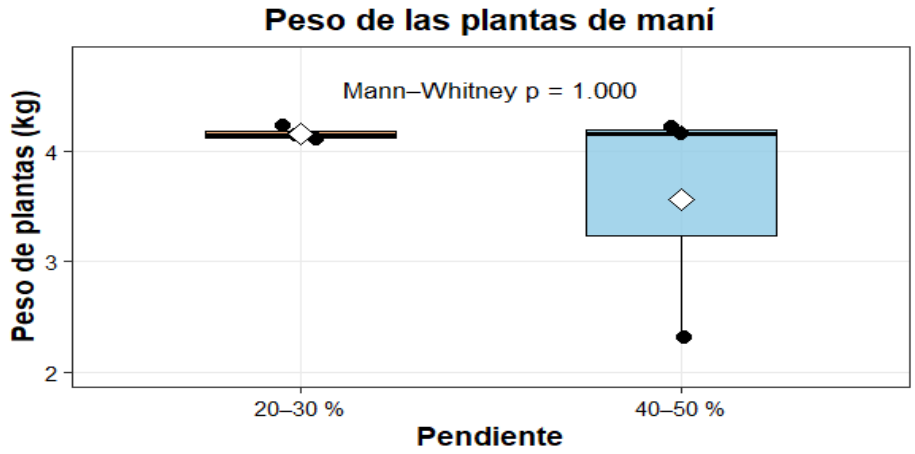


Figura 6. Comparación del peso de las plantas de maní entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 %.

El peso promedio de las vainas fue de 2,81 ± 1,85 kg en la pendiente de 20–30 % y de 3,03 ± 0,75 kg en la pendiente de 40–50 %. Aunque se registró un valor promedio ligeramente mayor en la pendiente de mayor inclinación, la comparación entre ambas pendientes no mostró diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Mann–Whitney (p = 0,700).

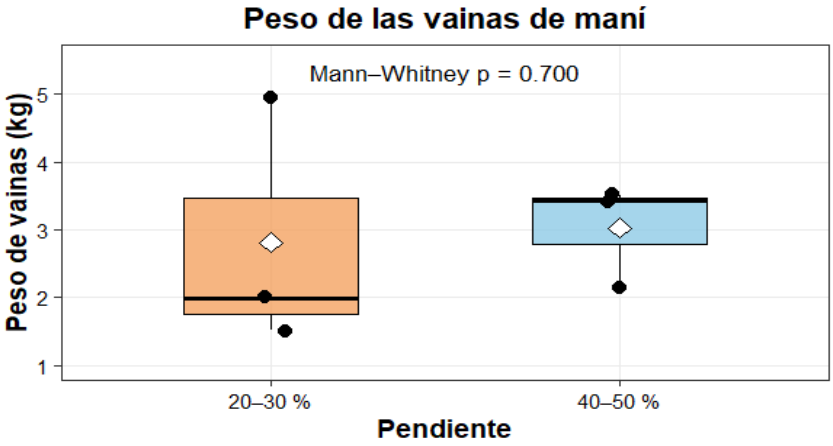


Figura 7. Comparación del peso de las vainas de maní entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 %.

El rendimiento promedio del cultivo fue de 401,90 ± 264,34 kg ha^{-1} en la pendiente de 20–30 % y de 432,38 ± 108,66 kg ha^{-1} en la pendiente de 40–50 %, observándose un valor aproximadamente 7,6 % mayor en la pendiente de mayor inclinación. Sin embargo, las diferencias entre ambas pendientes no fueron estadísticamente significativas (p = 0,100).

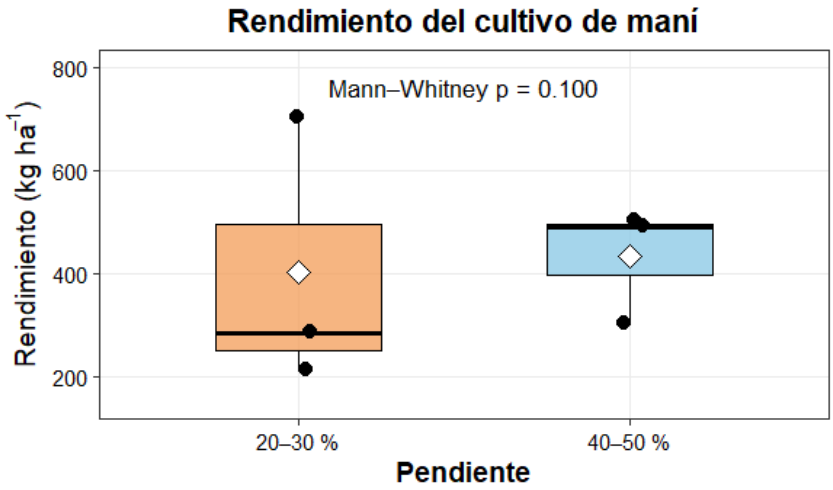


Figura 8. Comparación del rendimiento del cultivo de maní entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 %.

De acuerdo con la comparación del peso de las plantas de *Arachis hypogaea L.* entre la pendiente de 20–30 % y la pendiente de 40–50 %. Se observa que las parcelas ubicadas en la pendiente de 20–30 % mostraron una distribución más homogénea, con una variación

mínima entre parcelas, mientras que en la pendiente de 40–50 % se evidenció una mayor dispersión de los datos, influenciada principalmente por el menor peso registrado en una de las parcelas. El peso promedio de las plantas fue ligeramente superior en la pendiente de 20–30 % (4.15 ± 0.06 kg) en comparación con la pendiente de 40–50 % (3.56 ± 1.10 kg). Sin embargo, la prueba de Mann–Whitney no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre ambas pendientes (p = 1.000). El tamaño del efecto (d = 0.77) indicó una magnitud moderada, sugiriendo una tendencia hacia un mayor desarrollo vegetativo en la pendiente de menor inclinación.

Por otro lado, la comparación del peso del maní en vaina entre ambas pendientes menciona que en la pendiente de 20–30 % se observó una mayor variabilidad entre parcelas, atribuida principalmente al elevado rendimiento registrado en la parcela P1 (4.94 kg), mientras que la pendiente de 40–50 % presentó una distribución más uniforme de los valores. El peso promedio del maní en vaina fue ligeramente superior en la pendiente de 40–50 % (3.03 ± 0.75 kg) respecto a la pendiente de 20–30 % (2.81 ± 1.85 kg). No obstante, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 0.700), y el tamaño del efecto fue pequeño (d = -0.15), lo que indica que el efecto de la pendiente sobre esta variable fue reducido.

En cuanto a la comparación del rendimiento del cultivo expresado en kg ha^{-1} entre las dos pendientes evaluadas. La pendiente de 20–30 % mostró una mayor variabilidad entre parcelas, debido al elevado rendimiento obtenido en la parcela P1, mientras que la pendiente de 40–50 % presenta rendimientos más uniformes y consistentemente altos. El rendimiento promedio fue de 401.90 ± 264.34 kg ha^{-1} en la pendiente de 20–30 % y de 432.38 ± 108.66 kg ha^{-1} en la pendiente de 40–50 %, lo que representa un incremento aproximado del 7.6 % en esta última. Aunque la prueba de Mann–Whitney no detectó diferencias estadísticamente significativas (p = 0.100), el tamaño del efecto fue muy grande (d = -5.03), indicando una diferencia de elevada magnitud desde el punto de vista práctico. Deduciendo que las condiciones presentes en la pendiente de 40–50 % favorecieron un

mayor rendimiento del cultivo, aunque el reducido número de parcelas experimentales limitó la potencia estadística para detectar diferencias significativas.

Finalmente, las figuras (9,10,11) muestran que las variables relacionadas con la producción del cultivo no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre la pendiente de 20–30 % y la pendiente de 40–50 % ($p > 0.05$). Sin embargo, el análisis del tamaño del efecto evidenció una respuesta de magnitud moderada para el peso de las plantas, un efecto pequeño para el peso del maní en vaina y un efecto muy grande para el rendimiento del cultivo. Evidenciando que, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, la pendiente podría ejercer una influencia biológicamente importante sobre el rendimiento del maní.

3.2.2. Composición nutricional del maní (Arachis hypogaea L.)

3.2.2.1. Nitrógeno total

Se evidencia el contenido de nitrógeno total del maní (*Arachis hypogaea L.*) entre la pendiente de 20–30 % y la pendiente de 40–50 %. Se observa que las parcelas ubicadas en la pendiente de 20–30 % mostraron una mayor variabilidad en el contenido de nitrógeno total, con una amplia dispersión entre los valores registrados (Figura 9). Comparativamente, las parcelas de la pendiente de 40–50 % presentaron una distribución más homogénea, evidenciando una menor variación entre parcelas.

El contenido promedio de nitrógeno total fue de 25 453,78 ± 7 128,34 mg kg^{-1} en la pendiente de 20–30 % y de 31 603,78 ± 659,97 mg kg^{-1} en la pendiente de 40–50 %, equivalentes a 2,55 % y 3,16 % de nitrógeno, respectivamente. A partir de estos valores y mediante la aplicación del factor de conversión 6,25, se estimó un contenido promedio de proteína de 15,91 % en la pendiente de 20–30 % y de 19,75 % en la pendiente de 40–50 %. Aunque el nitrógeno total presentó un valor promedio aproximadamente 24,2 % mayor en

la pendiente de 40–50 %, la prueba de Mann-Whitney no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las pendientes (p = 0,200). No obstante, el tamaño del efecto (d = −1,22) indicó una diferencia de magnitud grande; el signo negativo responde al orden utilizado en la comparación entre los grupos y no implica una disminución del contenido de nitrógeno.

Se observó un contenido de nitrógeno total numéricamente mayor en los granos de maní producidos en la pendiente de 40–50 %, así como una menor variabilidad entre las parcelas evaluadas. Sin embargo, la diferencia entre ambas pendientes no fue estadísticamente significativa (p = 0,200) y, considerando el reducido número de parcelas evaluadas (n = 3 por pendiente), no existe evidencia suficiente para atribuir el mayor contenido de nitrógeno total a la pendiente del terreno. Por tanto, este resultado debe interpretarse como una tendencia descriptiva que requiere ser corroborada mediante estudios con un mayor número de unidades experimentales.

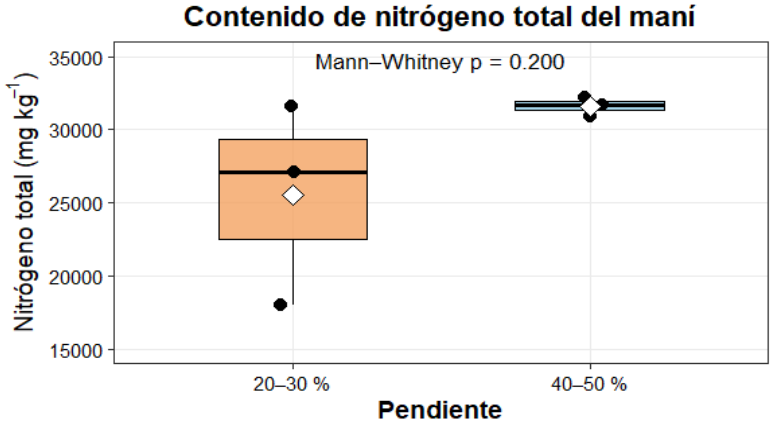


Figura 9. Contenido de nitrógeno total del maní (*Arachis hypogaea L.)* en las pendientes evaluadas.

Nota. Los diagramas de caja representan la distribución de los valores obtenidos en cada pendiente; el rombo blanco corresponde a la media y los puntos negros representan los valores individuales de cada parcela. El valor de *p* corresponde a la prueba de Mann–Whitney.

3.2.2.2. Humedad

El contenido de humedad del maní (*Arachis hypogaea L.*) donde se observa que las parcelas ubicadas en la pendiente de 20–30 % presentaron una mayor variabilidad en el contenido de humedad, evidenciada por una mayor dispersión de los valores entre parcelas. Las parcelas de la pendiente de 40–50 % mostraron una distribución más homogénea, con una menor variación entre los valores registrados (Figura 10).

El contenido promedio de humedad fue de 7.13 ± 0.91 % en la pendiente de 20–30 % y de 7.09 ± 0.08 % en la pendiente de 40–50 %, lo que representa una diferencia de apenas 0.04 puntos porcentuales entre ambas pendientes. La prueba de Mann–Whitney indicó que esta diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 0.700). Asimismo, el análisis del tamaño del efecto mostró un valor de d = 0.06, clasificado como un efecto trivial, lo que evidencia una influencia mínima de la pendiente sobre el contenido de humedad del grano.

Es así como se evidencia que el contenido de humedad del maní fue muy similar entre la pendiente de 20–30 % y la pendiente de 40–50 %. Aunque la pendiente de 20–30 % presentó una mayor variabilidad entre parcelas, los valores obtenidos en ambas pendientes se mantuvieron dentro de un rango estrecho, indicando una respuesta uniforme del contenido de humedad frente a las condiciones de pendiente evaluadas.

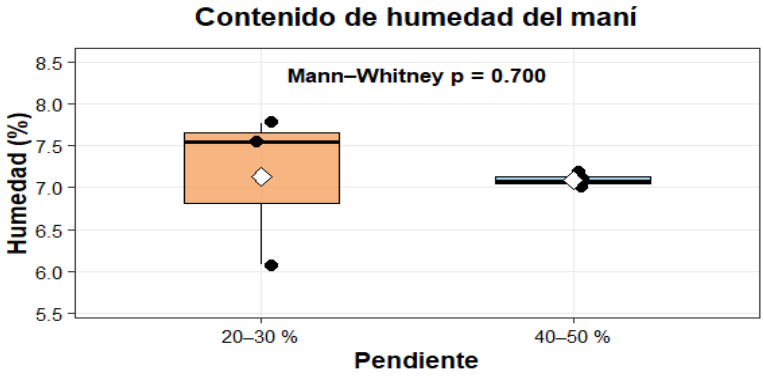


Figura 10. Comparación del contenido de humedad del maní (*Arachis hypogaea L.).*

3.2.2.3. Cenizas

Se puede evidenciar el contenido de cenizas del maní (*Arachis hypogaea L.*), en la pendiente de 20–30 % se aprecia que el contenido promedio de cenizas fue de 2.44 ± 0.43 % en la pendiente de 20–30 %, mientras que en la pendiente de 40–50 % se registró un promedio de 2.14 ± 0.03 %. Aunque el contenido mineral fue ligeramente superior en la pendiente de menor inclinación, la prueba de Mann–Whitney indicó que esta diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 0.700).

Por otra parte, el análisis del tamaño del efecto mostró un valor de d = 0.99, correspondiente a un efecto grande, lo que sugiere que la diferencia observada posee una magnitud considerable desde el punto de vista práctico. Es por ello por lo que, aunque el análisis inferencial no detectó diferencias significativas entre las pendientes evaluadas, la magnitud del efecto indica que la pendiente podría influir sobre el contenido de minerales del grano. Es así como, existe mayor contenido de cenizas en el maní producido en la pendiente de 20–30 %, mientras que la pendiente de 40–50 % presentó valores más homogéneos entre parcelas.

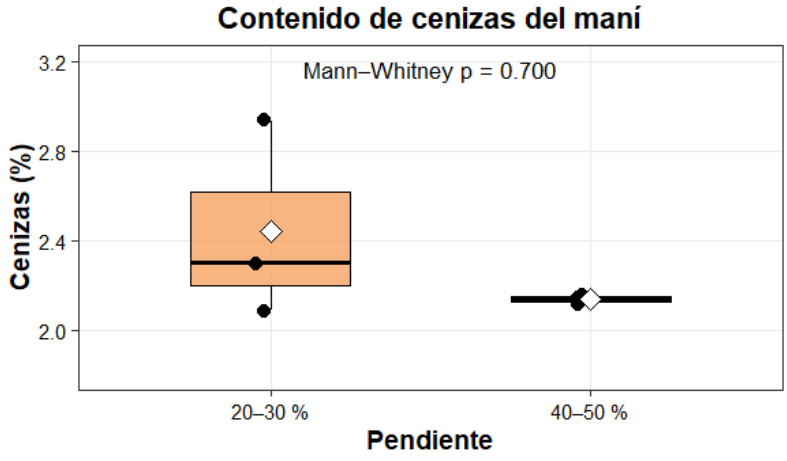


Figura 11. Contenido de cenizas (%) del maní cosechado en distintas pendientes.

3.2.2.4. Lípidos

En ambas pendientes se observa una distribución relativamente similar de los datos, aunque la pendiente de 40–50 % exhibe una mayor dispersión entre parcelas, influenciada principalmente por el valor máximo registrado en una de ellas. Por el contrario, en la pendiente de 20–30 % los valores se concentraron en un intervalo más estrecho, reflejando una menor variabilidad del contenido lipídico (Figura 12).

En cuanto a los estadísticos descriptivos, el contenido promedio de lípidos fue de 45.74 ± 3.35 % en la pendiente de 20–30 %, mientras que la pendiente de 40–50 % alcanzó un promedio de 47.40 ± 3.99 %. Aunque se evidenció una ligera tendencia hacia un mayor contenido de lípidos en la pendiente de mayor inclinación, la prueba de Mann–Whitney indicó que esta diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 1.000).

Por otra parte, el análisis< del tamaño del efecto mostró un valor de d = -0.45, clasificado como un efecto pequeño a moderado. Esto indica que la diferencia observada entre las pendientes posee una magnitud reducida desde el punto de vista práctico, lo que coincide con la superposición de los valores observada en los diagramas de caja.

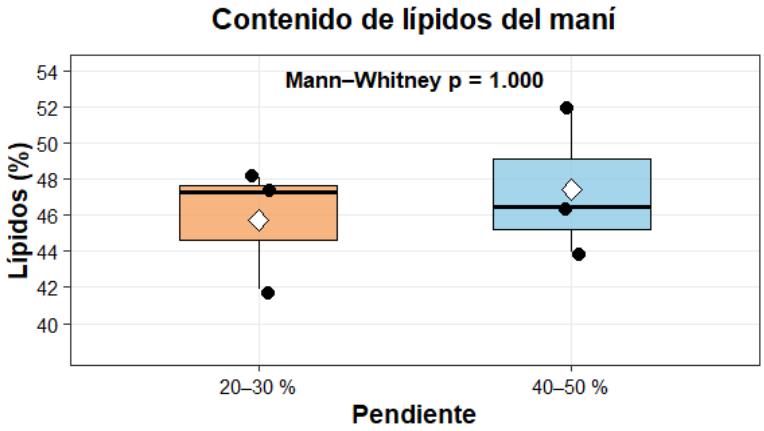


Figura 12. Contenido de lípidos (%) del maní cosechado en distintas pendientes.

3.2.2.5. Fibra

Se puede apreciar que las parcelas establecidas en la pendiente de 20–30 % registraron valores inferiores y una mayor dispersión entre las observaciones, mientras que en la pendiente de 40–50 % los datos se concentraron en un intervalo más estrecho, reflejando una mayor uniformidad en el contenido de fibra de los granos (Figura 13).

Por su parte, el contenido promedio de fibra fue de 8.40 ± 0.80 % en la pendiente de 20–30 %, mientras que en la pendiente de 40–50 % se obtuvo un promedio de 9.54 ± 0.54 %, equivalente a un incremento aproximado del 13.6 % respecto a la pendiente de menor inclinación. No obstante, la prueba de Mann–Whitney mostró que esta diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 0.200).

Adicionalmente, el análisis del tamaño del efecto arrojó un valor de d = -1.65, correspondiente a un efecto grande, lo que indica que la diferencia observada entre ambas pendientes presenta una magnitud considerable desde el punto de vista práctico.

Finalmente se evidencia una tendencia hacia un mayor contenido de fibra en el maní cultivado en la pendiente de 40–50 %. Asimismo, la menor dispersión observada en esta pendiente indica una respuesta más homogénea entre las parcelas evaluadas.

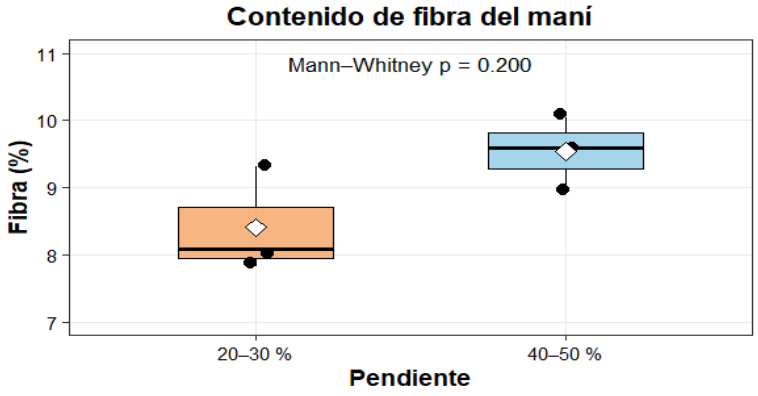


Figura 13. Contenido de fibra (%) del maní cosechado en distintas pendientes.

3.2.2.6. Composición nutricional general del maní (Arachis hypogaea L.)

Con la finalidad de presentar de manera integrada el perfil nutricional del maní producido en Casa Ingaru, se agruparon los resultados correspondientes a humedad, cenizas, nitrógeno total, lípidos y fibra para las pendientes de 20–30 % y 40–50 %. Para facilitar la comparación gráfica entre los componentes, el nitrógeno total, originalmente expresado en mg kg^{-1}, fue convertido a porcentaje, considerando que 10 000 mg kg^{-1} equivalen a 1 %. De esta manera, los valores de 25 453,78 y 31 603,78 mg kg^{-1} corresponden a 2,55 y 3,16 %, respectivamente. Los demás componentes conservaron las unidades porcentuales empleadas originalmente en los análisis.

Tabla 1. Composición nutricional del maní (*Arachis hypogaea L*.) en las pendientes evaluadas de Casa Ingaru-Tena

Componente nutricional	Pendiente 20–30 %	Pendiente 40–50 %	p-valor	Interpretación
Humedad (%)	7,13 ± 0,91	7,09 ± 0,08	0,700	No significativa
Cenizas (%)	2,44 ± 0,43	2,14 ± 0,03	0,700	No significativa
Nitrógeno total (%)	2,55 ± 0,71	3,16 ± 0,07	0,200	No significativa
Lípidos (%)	45,74 ± 3,35	47,40 ± 3,99	1,000	No significativa
Fibra (%)	8,40 ± 0,80	9,54 ± 0,54	0,200	No significativa

Nota. Los valores corresponden a media ± desviación estándar. El nitrógeno total fue transformado de mg kg^{-1} a porcentaje únicamente para permitir su representación conjunta con los demás componentes nutricionales. La significancia estadística corresponde a la prueba de Mann–Whitney, considerando $p < 0,05$.

Como se observa en la Tabla 1, el componente predominante en el grano de maní fue la fracción lipídica, cuyos valores oscilaron entre 45,74 y 47,40 %. La fibra constituyó el segundo componente cuantificado en mayor proporción, con valores entre 8,40 y 9,54 %, seguida de la humedad, con 7,09–7,13 %. Las cenizas se encontraron entre 2,14 y 2,44 %, mientras que el nitrógeno total, expresado porcentualmente para fines comparativos, presentó valores entre 2,55 y 3,16 %.

Aunque la pendiente del 40–50 % presentó valores numéricamente superiores de lípidos, fibra y nitrógeno total, mientras que la pendiente del 20–30 % mostró valores ligeramente superiores de humedad y cenizas, ninguna de estas diferencias fue estadísticamente significativa ($p > 0,05$). Por lo tanto, el perfil nutricional general del maní permaneció relativamente estable entre las condiciones topográficas evaluadas.

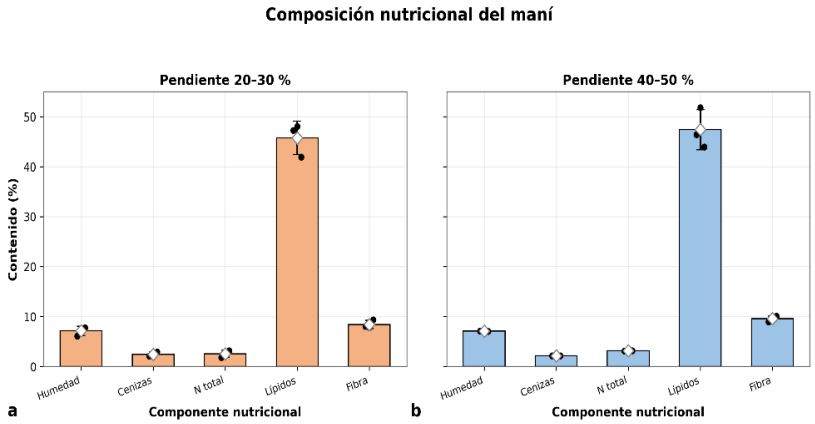


Figura 14. Composición nutricional del maní (*Arachis hypogaea L.*) en las pendientes evaluadas de Casa Ingaru-Tena.

Nota. El panel a corresponde a la pendiente de 20–30 % y el panel b a la pendiente de 40–50 %. Las barras representan los valores promedio, las barras de error corresponden a la desviación estándar, los puntos negros representan los valores individuales de cada parcela y el rombo blanco representa la media. El nitrógeno total fue convertido de mg kg^{-1} a porcentaje únicamente para facilitar su representación conjunta con los demás componentes nutricionales.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Influencia de la pendiente sobre las propiedades físicas del suelo

La calidad física del suelo influye de manera directa en el desarrollo de los cultivos, porque condiciona procesos como la infiltración del agua, la aireación, el crecimiento de las raíces y la resistencia que ofrece el suelo al avance de las estructuras subterráneas (Huera et al., 2025). En ambientes amazónicos, estas propiedades no dependen únicamente de la pendiente, sino también de la textura, la materia orgánica, la cobertura vegetal, el uso previo del terreno y las prácticas de manejo. En sistemas agroforestales de la Amazonía ecuatoriana, la densidad aparente y la materia orgánica se consideran indicadores valiosos de calidad edáfica por su relación con la estructura del suelo, la actividad biológica y la capacidad de almacenar y movilizar agua y nutrientes (Huera et al., 2025).

En Casa Ingaru, la densidad aparente promedio fue de 0,5110 ± 0,0407 g cm^{-3} en la pendiente de 20–30 % y de 0,4127 ± 0,0567 g cm^{-3} en la pendiente de 40–50 %. Aunque la comparación mediante la prueba t de Student no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre ambas pendientes ($p = 0,0711$), se obtuvo un tamaño del efecto elevado (d de Cohen = 1,99). Descriptivamente, la pendiente de 40–50 % presentó una densidad aparente aproximadamente 19,2 % menor que la registrada en la pendiente de 20–30 %. Sin embargo, estos resultados no proporcionan evidencia estadística suficiente para atribuir dicha diferencia a la pendiente del terreno.

Al comparar estos valores con los reportados en otros estudios amazónicos, se observa que los datos de Casa Ingaru fueron bastante bajos. Salazar et al. (2024), en San Martín, Perú, reportaron densidades aparentes de 1,06 g cm^{-3} en sistemas pastoriles convencionales y 1,19 g cm^{-3} en sistemas silvopastoriles. En la pendiente del 20–30%, la densidad fue aproximadamente 51,8% menor que 1,06 g cm^{-3} y 57,1% menor que 1,19 g cm^{-3}; en la

pendiente del 40–50%, las reducciones fueron de 61,1% y 65,3%, respectivamente. Esto sugiere que las condiciones del sitio y el manejo tuvieron un papel importante en el comportamiento de esta variable, más allá del efecto de la pendiente (Salazar et al., 2024).

Polanía-Hincapié et al. (2021) observaron un comportamiento semejante en Colombia, donde el reemplazo de vegetación nativa por pasturas incrementó la densidad aparente, mientras que los sistemas silvopastoriles la redujeron. Este antecedente refuerza la idea de que la cobertura vegetal y el manejo influyen de forma decisiva en este parámetro, por lo que lo observado en Casa Ingaru no puede atribuirse solo a la inclinación del terreno (Polanía-Hincapié et al., 2021).

La densidad real siguió una tendencia parecida. En la pendiente del 20–30% fue de 2,0522 ± 0,4079 g cm^{-3}, mientras que en la del 40–50% alcanzó 1,6469 ± 0,1452 g cm^{-3}. Aunque la diferencia, cercana al 19,7%, no fue significativa ($p = 0,1803$), el tamaño del efecto fue alto (d de Cohen = 1,32). Una explicación posible es el mayor contenido de materia orgánica en la pendiente más inclinada, ya que este componente tiene menor densidad que la fracción mineral y contribuye a mejorar la estructura del suelo (Carreño et al., 2025).

Justamente, la materia orgánica fue la variable que mostró la diferencia más clara entre las pendientes. En el 20–30% se registró 21,35 ± 0,92%, mientras que en el 40–50% se obtuvo 28,12 ± 0,53%, lo que representa un incremento de 31,7% en la pendiente más alta. A diferencia de las densidades, esta variable sí presentó diferencias significativas ($p < 0,001$), con un tamaño del efecto muy elevado (d de Cohen = 9,02). Este resultado cobra importancia porque la materia orgánica favorece la formación de agregados, mejora la porosidad, ayuda a retener agua y estimula la actividad biológica del suelo (Huera et al., 2025).

La relación entre más materia orgánica y menor densidad también ha sido descrita por Huera et al. (2025), quienes reportaron una correlación negativa fuerte entre ambas

variables. Del mismo modo, Chuchon et al. (2026) mostraron que una mayor cobertura vegetal favorece la acumulación de carbono orgánico y reduce la vulnerabilidad del suelo a la erosión. Aunque estos resultados no son directamente comparables con los de Casa Ingaru, sí ayudan a entender por qué la pendiente más alta mostró mejores condiciones físicas en materia orgánica y densidad.

En cuanto a la textura, ambas pendientes fueron clasificadas como suelos arcillosos. La pendiente del 20–30% presentó 55,12% de arcilla, 38,88% de arena y 6,00% de limo, mientras que la del 40–50% registró 53,12% de arcilla, 38,88% de arena y 8,00% de limo. Como la fracción arcilla fue mayor al 50% en ambos casos, la clase textural no cambió. Esto indica que las diferencias observadas en densidad y materia orgánica no se explican por cambios texturales, sino por factores asociados al manejo, la cobertura y la dinámica del suelo (Chuchon et al., 2026).

4.2. Influencia de la pendiente sobre la fertilidad química del suelo

La fertilidad química del suelo depende de su capacidad para ofrecer nutrientes en formas que la planta pueda aprovechar. En ambientes tropicales y amazónicos, está fertilidad está influida por la materia orgánica, la lixiviación, la erosión, la actividad biológica y el pH, que regulan la dinámica de los nutrientes en el suelo (Rayo-Álvarez et al., 2022; Abril et al., 2023).

En Casa Ingaru, ambas pendientes presentaron suelos ácidos, con pH de 5,00 en la zona del 20–30% y de 4,55 en la del 40–50%. La acidez más marcada en la pendiente más inclinada podría estar relacionada con el mayor contenido de materia orgánica, ya que durante su descomposición se generan ácidos orgánicos que pueden disminuir el pH (Crusciol et al., 2021). Aunque esta diferencia no fue evaluada estadísticamente en los resultados, sí resulta relevante porque el pH influye en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad microbiana.

El nitrógeno total, en cambio, fue mayor en la pendiente del 20–30%, con 5224 mg kg^{-1}, mientras que en la del 40–50% se registraron 1282 mg kg^{-1}. Esto indica que la reserva total de nitrógeno fue más alta en la zona de menor inclinación. Sin embargo, este dato no significa necesariamente que la planta haya podido aprovecharlo mejor, porque gran parte del nitrógeno del suelo se encuentra en formas orgánicas que deben neutralizarse antes de ser absorbidas (Brady y Weil, 2022; Marschner, 2023).

El análisis por FRX mostró diferencias claras entre las dos pendientes. El silicio fue el elemento más abundante en ambas zonas, seguido por aluminio y hierro, algo habitual en suelos tropicales muy meteorizados. La pendiente del 20–30% presentó mayores concentraciones de Al, Fe y Ti, mientras que la del 40–50% mostró valores superiores de P, S y Ca. Estas diferencias tienen interés agronómico porque el fósforo, el azufre y el calcio son nutrientes importantes para el maní, mientras que el aluminio y el hierro en exceso suelen asociarse con suelos más ácidos y con posibles restricciones en la absorción de nutrientes (Brady y Weil, 2022; Marschner, 2023).

El mayor contenido de calcio en la pendiente del 40–50% merece atención, ya que este elemento es clave en la formación y llenado de vainas en el maní. Aun así, debe recordarse que el FRX mide concentraciones totales y no la disponibilidad real para la planta. Por eso, no sería correcto asumir que un mayor contenido total de Ca, P o S significa automáticamente una mejor nutrición del cultivo.

El azufre también fue mayor en la pendiente más pronunciada, posiblemente por su relación con la materia orgánica. Esto sugiere que la acumulación orgánica en esa zona pudo favorecer la presencia de algunos nutrientes esenciales. Sin embargo, la acidez del suelo puede limitar la disponibilidad efectiva de varios elementos (Briones et al., 2021; Marschner, 2023).

Es así como cada pendiente mostró un perfil químico diferente. La del 40–50% presentó más materia orgánica, P, S y Ca, pero también un pH más ácido y menos nitrógeno total. La del 20–30% tuvo más nitrógeno total y mayores concentraciones de Al, Fe y Ti. Por eso, no puede decirse que una zona fuera claramente más fértil que la otra en todos los aspectos; más bien, cada una mostró ventajas y limitaciones distintas.

4.3. Influencia de la pendiente sobre la producción del cultivo de *Arachis hypogaea L.*

La ausencia de significancia estadística debe interpretarse considerando el reducido número de unidades experimentales y la variabilidad observada entre parcelas, especialmente en la pendiente del 20–30 %. En estudios agronómicos, una elevada variabilidad dentro de los tratamientos y un tamaño muestral pequeño disminuyen la capacidad de las pruebas estadísticas para identificar diferencias entre grupos (Gelaye & Luo, 2024). Por ello, las variaciones registradas deben considerarse tendencias descriptivas dentro de las condiciones específicas del estudio y no como evidencia concluyente de un efecto de la pendiente.

Las diferencias observadas en la producción pueden analizarse juntamente con las propiedades físicas del suelo. La pendiente del 40–50 % presentó una densidad aparente de 0,4127 ± 0,0567 g cm^{-3}, inferior a los 0,5110 ± 0,0407 g cm^{-3} registrados en la del 20–30 %. Asimismo, el contenido de materia orgánica fue significativamente mayor en la zona más inclinada, con 28,12 ± 0,53 %, frente a 21,35 ± 0,92 % en la pendiente moderada. Una menor densidad aparente y una mayor presencia de materia orgánica pueden favorecer la estructura, la porosidad, la infiltración del agua y el desarrollo de las raíces, propiedades relevantes para el establecimiento y crecimiento de los cultivos (Gelaye & Luo, 2024).

Estas características adquieren especial importancia en el maní debido a su forma particular de fructificación. Después de la fecundación, el gineóforo penetra en el suelo y la vaina completa allí su desarrollo. Por esta razón, las propiedades físicas del medio edáfico pueden

influir en la penetración del gineóforo, el crecimiento subterráneo de los frutos y las condiciones de aireación y humedad que rodean las vainas. Los suelos con menor resistencia mecánica y una estructura favorable pueden facilitar estos procesos, aunque el rendimiento final depende de la interacción de múltiples factores agronómicos y ambientales (Gelaye & Luo, 2024).

La fertilidad química también presentó diferencias que podrían contribuir a explicar la respuesta productiva. La pendiente del 40–50 % registró mayor materia orgánica y concentraciones totales superiores de P, S y Ca determinadas mediante FRX. Sin embargo, esta misma zona presentó un pH más ácido (4,55) y una concentración de nitrógeno total del suelo de 1282 mg kg^{-1}, inferior a los 5224 mg kg^{-1} obtenidos en la pendiente del 20–30 %. Esto demuestra que ninguna de las dos áreas presentó condiciones uniformemente más favorables para todas las propiedades evaluadas.

Además, las concentraciones obtenidas mediante FRX corresponden al contenido elemental total del suelo y no necesariamente a la fracción disponible para las plantas. Por ello, no puede establecerse una relación directa entre las mayores concentraciones de determinados elementos y el rendimiento observado. La respuesta productiva debe interpretarse a partir de la interacción entre las características físicas, la disponibilidad efectiva de nutrientes, la actividad biológica, las condiciones ambientales y el manejo agronómico.

Esta interpretación coincide con Gelaye y Luo (2024), quienes señalan que el rendimiento del maní responde a la interacción entre la calidad física del suelo, la disponibilidad de nutrientes y las prácticas de manejo. Una estructura adecuada, la presencia de materia orgánica y la actividad biológica pueden favorecer el desarrollo radicular y el aprovechamiento de los nutrientes, contribuyendo al crecimiento y llenado de las vainas. Por tanto, la productividad no debe atribuirse de manera aislada a una sola característica del suelo.

De manera similar, Ghosh y Kaur (2024) señalan que el uso de fuentes orgánicas acompañado de un manejo apropiado de la fertilización puede favorecer la productividad del maní mediante cambios en la actividad microbiana, la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia de su utilización. Es así como, el contenido de materia orgánica registrado en Casa Ingaru constituye una característica relevante para comprender el funcionamiento del suelo, aunque su relación directa con la producción requeriría análisis específicos que permitan establecer asociaciones entre las variables edáficas y productivas.

Es por ello que, los resultados muestran que la pendiente del 40–50 % presentó un rendimiento promedio ligeramente superior y una menor variabilidad entre parcelas, mientras que la pendiente del 20–30 % registró un mayor peso promedio de las plantas. No obstante, las diferencias en peso de plantas ($p = 1{,}000$), peso de vainas ($p = 0{,}700$) y rendimiento ($p = 0{,}100$) no fueron estadísticamente significativas. Por esta razón, no se puede afirmar que la pendiente haya determinado directamente la productividad de *Arachis hypogaea L.* bajo las condiciones evaluadas. Las tendencias observadas sugieren que la respuesta del cultivo estuvo relacionada con la interacción entre las propiedades del suelo, la variabilidad entre parcelas y el manejo del agroecosistema.

4.4. Influencia de la pendiente sobre la composición nutricional del maní (*Arachis hypogaea L.*)

La composición nutricional del maní constituye uno de los principales resultados de la presente investigación, debido a que permite establecer valores de referencia para el material cultivado en Casa Ingaru-Tena y analizar si las diferencias topográficas evaluadas modificaron su calidad nutricional. En términos generales, los resultados mostraron que las variables nutricionales presentaron valores relativamente próximos entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 %, sin registrarse diferencias estadísticamente significativas. Esto indica que, bajo las condiciones experimentales y de manejo evaluadas, la pendiente no fue un factor suficiente para modificar significativamente la composición nutricional del grano.

El contenido de humedad se mantuvo entre 7,09 y 7,13 %, registrándose 7,13 ± 0,91 % en la pendiente del 20–30 % y 7,09 ± 0,08 % en la pendiente del 40–50 % (p = 0,700). La escasa diferencia entre ambos valores evidencia una relativa estabilidad de esta característica independientemente de la inclinación del terreno. La humedad del grano constituye un parámetro importante de calidad debido a su relación con la estabilidad durante el almacenamiento y la susceptibilidad al deterioro. Por ello, los resultados obtenidos indican que las condiciones de cosecha y procesamiento permitieron alcanzar niveles semejantes de humedad en ambas pendientes.

En cuanto al contenido de cenizas, los valores se encontraron entre 2,14 y 2,44 %, correspondientes a 2,44 ± 0,43 % en la pendiente del 20–30 % y 2,14 ± 0,03 % en la pendiente del 40–50 %. Aunque el valor fue numéricamente mayor en la pendiente de menor inclinación, la diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 0,700). Sin embargo, el tamaño del efecto obtenido para esta variable fue grande (d = 0,99), por lo que la variación observada puede tener interés desde una perspectiva nutricional y requiere ser comprobada mediante estudios con un mayor número de unidades experimentales.

Los valores de cenizas obtenidos resultan relevantes porque este parámetro representa de manera general la fracción mineral presente en el alimento. En este sentido, los resultados encontrados en Casa Ingaru muestran valores comparables con los registrados previamente para semillas de *Arachis hypogaea* en diferentes estudios. Esto sugiere que, aunque las condiciones edáficas fueron diferentes entre las pendientes, la acumulación global de minerales en el grano se mantuvo dentro de valores esperados para la especie.

Respecto al contenido de lípidos, se determinaron valores entre 45,74 y 47,40 %, correspondiendo 45,74 ± 3,35 % a la pendiente del 20–30 % y 47,40 ± 3,99 % a la pendiente del 40–50 %. La diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 1,000), evidenciándose que la mayor inclinación del terreno no produjo una modificación demostrable sobre esta

característica nutricional. No obstante, estos resultados adquieren importancia cuando se comparan con investigaciones realizadas en otros materiales de maní.

En semillas de maní procedentes de Ecuador, Grosso y Guzmán analizaron 28 cultivares de *Arachis hypogaea* y evidenciaron diferencias en la composición proximal entre variedades, confirmando que el contenido de aceite y otros componentes nutricionales puede presentar variaciones asociadas con el material vegetal. De forma complementaria, en cultivares originarios de Bolivia se han reportado contenidos de aceite comprendidos entre 440 y 547 g kg^{-1}, equivalentes a 44,0–54,7 %. En comparación con este intervalo, los valores obtenidos en Casa Ingaru, de 45,74–47,40 %, se encuentran dentro del rango previamente descrito para *A. hypogaea*, lo que evidencia que el maní cultivado en el área estudiada presenta un contenido lipídico comparable con materiales sudamericanos previamente caracterizados.

Este resultado es particularmente relevante debido a que el contenido de lípidos constituye una de las características nutricionales y tecnológicas más importantes del maní. La similitud entre los valores obtenidos en las dos pendientes indica que la composición lipídica global se mantuvo relativamente estable a pesar de las diferencias observadas en determinadas propiedades del suelo. Por tanto, aunque la pendiente del 40–50 % presentó un contenido promedio ligeramente mayor de lípidos, no existe evidencia estadística suficiente para atribuir dicha diferencia directamente a la inclinación del terreno.

El nitrógeno total del grano presentó valores comprendidos entre 25 453,78 y 31 603,78 mg kg^{-1}. La pendiente de 20–30 % registró un promedio de 25 453,78 ± 7 128,34 mg kg^{-1}, mientras que la pendiente del 40–50 % alcanzó 31 603,78 ± 659,97 mg kg^{-1}, representando un incremento descriptivo aproximado del 24,2 %. Sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0,200$). El tamaño del efecto fue grande ($d = -1,22$), lo que evidencia una diferencia de magnitud considerable que deberá comprobarse mediante investigaciones posteriores con un mayor número de parcelas experimentales.

En este punto es importante mantener los resultados expresados como nitrógeno total en mg kg^{-1} y evitar compararlos directamente con porcentajes de proteína obtenidos mediante otros procedimientos, a menos que se establezca y justifique previamente un factor de conversión específico. Los antecedentes ecuatorianos disponibles reportan porcentajes de proteína diferentes entre variedades de *A. hypogaea*, con valores aproximados entre 25,9 y 31,3 % dependiendo del material analizado. Sin embargo, debido a que la presente investigación determinó nitrógeno total y no proteína directamente, estos antecedentes deben considerarse únicamente como referencia general y no como una comparación cuantitativa directa.

Por otra parte, el contenido de fibra presentó valores entre 8,40 y 9,54 %, observándose una tendencia hacia valores superiores en la pendiente del 40–50 %. La diferencia representó aproximadamente un incremento del 13,6 %, aunque tampoco alcanzó significancia estadística ($p = 0,200$). El tamaño del efecto obtenido fue grande ($d = -1,65$), lo que nuevamente evidencia que la ausencia de significancia estadística no necesariamente implica ausencia absoluta de una diferencia biológicamente relevante, particularmente considerando el reducido número de unidades experimentales.

La interpretación conjunta de estos resultados permite señalar que la composición nutricional del maní producido en Casa Ingaru presentó una relativa estabilidad entre las condiciones topográficas evaluadas. La humedad se mantuvo entre 7,09–7,13 %, las cenizas entre 2,14–2,44 %, los lípidos entre 45,74–47,40 %, la fibra entre 8,40–9,54 % y el nitrógeno total entre 25 453,78–31 603,78 mg kg^{-1}. Estos intervalos constituyen uno de los principales aportes descriptivos del estudio, debido a que permiten caracterizar nutricionalmente el maní producido bajo las condiciones particulares del sistema agrícola de Casa Ingaru.

La comparación con antecedentes de Ecuador y otros países sudamericanos muestra además que determinados componentes, especialmente el contenido lipídico, se encuentran dentro de los intervalos descritos previamente para *Arachis hypogaea* L. Los

cultivares bolivianos estudiados por Grosso et al. presentaron contenidos de aceite de 44,0 a 54,7 %, intervalo dentro del cual se encuentran los valores de 45,74–47,40 % determinados en Casa Ingaru. Estos resultados permiten considerar que el maní cultivado en el área de estudio posee una composición lipídica comparable con materiales de la especie cultivados en otros contextos sudamericanos.

4.4.1. *Comparación de la composición nutricional con valores reportados para Arachis hypogaea L.*

Con la finalidad de contextualizar la composición nutricional obtenida en Casa Ingaru, los resultados de humedad, cenizas, lípidos y fibra se compararon con valores previamente reportados para semillas de *Arachis hypogaea L.* Esta comparación permite determinar si los valores registrados bajo las condiciones edáficas y topográficas del área de estudio son semejantes, superiores o inferiores a los descritos para el maní en otros estudios. No se incluyó el nitrógeno total en esta comparación debido a que en la presente investigación fue determinado como nitrógeno, mientras que gran parte de la literatura reporta proteína, por lo que una comparación directa entre ambos parámetros no sería metodológicamente equivalente.

Tabla 2. Comparación de la composición nutricional del maní producido en Casa Ingaru con valores de referencia para *Arachis hypogaea L*.

Procedencia	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)
Casa Ingaru, pendiente 20–30 %	7,13	2,44	15,91	45,74	8,40
Casa Ingaru, pendiente 40–50 %	7,09	2,14	19,75	47,40	9,54
Valor de referencia de *A. hypogaea L.*	6,50	2,30	25,90–31,30	49,20	8,50

Nota. Los valores de Casa Ingaru corresponden a los obtenidos en este estudio. La proteína se estimó a partir del contenido total utilizando el factor de conversión 6.25. Para la proteína, el valor de referencia es 25.90-31.30%. Los valores utilizados como referencia corresponden a los reportados para las semillas de *Arachis hypogaea L.* Las diferencias entre los resultados deben interpretarse teniendo en cuenta la variedad, las condiciones

ambientales y del suelo, la madurez, el manejo agronómico y la metodología analítica utilizada.

La comparación evidencia que la composición nutricional del maní producido en Casa Ingaru presenta valores próximos a los descritos para *Arachis hypogaea L.* El contenido de humedad registrado en las dos pendientes fue de 7,09–7,13 %, ligeramente superior al valor de referencia de 6,50 %. Sin embargo, la diferencia fue inferior a un punto porcentual, lo que muestra una composición relativamente próxima.

El contenido de cenizas osciló entre 2,14 y 2,44 %, mientras que el valor de referencia fue de 2,30 %. Por tanto, los resultados obtenidos en Casa Ingaru se encuentran muy próximos al valor descrito para la especie. Esta semejanza indica que la fracción mineral total del maní estudiado presenta un comportamiento comparable con el reportado previamente.

En cuanto a los lípidos, se determinaron contenidos entre 45,74 y 47,40 %, ligeramente inferiores al valor de referencia de 49,20 %. A pesar de esta diferencia, los lípidos constituyeron el componente cuantificado en mayor proporción en el maní de Casa Ingaru, confirmando la importancia de esta fracción dentro de su composición nutricional.

La fibra presentó valores entre 8,40 y 9,54 %, frente al valor de referencia de 8,50 %. El resultado correspondiente a la pendiente del 20–30 % fue prácticamente equivalente al valor de referencia, mientras que el obtenido en la pendiente del 40–50 % fue ligeramente superior. En conjunto, estas comparaciones muestran que el maní producido en Casa Ingaru presenta una composición nutricional semejante a la descrita para *Arachis hypogaea L.*, aunque existen pequeñas variaciones entre los componentes.

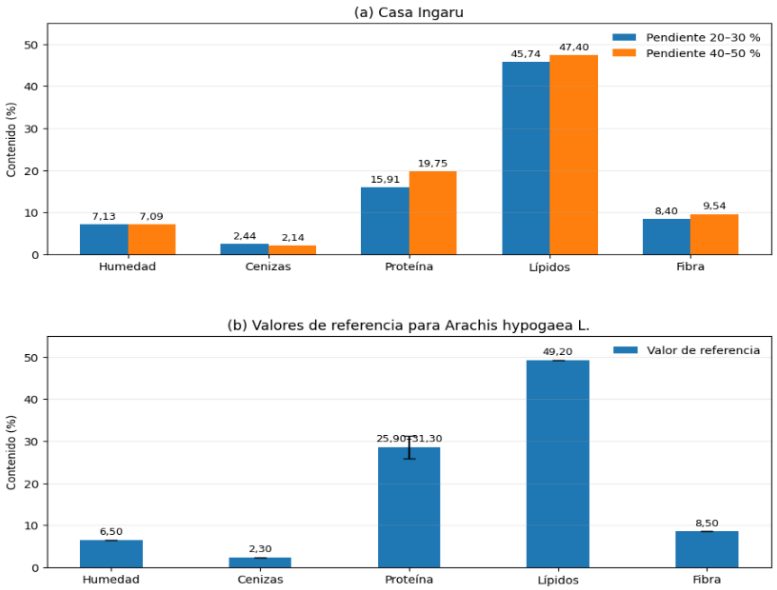


Figura 15. Comparación de la composición nutricional del maní producido en Casa Ingaru con valores de referencia reportados para *Arachis hypogaea L*.

Nota. En el panel a presentamos la humedad, cenizas, proteínas, lípidos y fibra en pendientes del 20-30% y 40-50%. En el panel b presentamos la información nutricional que utilizamos como referencia para *Arachis hypogaea L.* La proteína para Casa Ingaru se calcula a partir del contenido total de nitrógeno utilizando el factor de conversión 6.25. En la proteína de referencia mostramos 25.90-31.30%.

Esta comparación muestra que la composición nutricional de los cacahuetes producidos en Casa Ingaru tiene en algunas de sus partes valores muy cercanos a los descritos para *Arachis hypogaea L.* El contenido de proteínas no se determinó directamente durante el análisis bromatológico, sino que se estimó a partir del nitrógeno total calculado experimentalmente. Para obtener el porcentaje de proteína, utilizamos el factor de conversión de 6.25 (ver la literatura relevante) para estimar el contenido de proteína a partir del nitrógeno total, de modo que se estima un porcentaje de proteína de 15.91% para la pendiente del 20-30% y 19.75% para la pendiente del 40-50%.

El contenido de humedad en las dos pendientes fue de 7.09-7.13%, ligeramente superior al valor de referencia de 6.50%. Sin embargo, la diferencia fue inferior a un punto porcentual, lo que sugiere una composición muy cercana para este parámetro.

El contenido de cenizas varió de 2.14 a 2.44%, mientras que el valor de referencia fue de 2.30%. Los resultados obtenidos en Casa Ingaru son muy cercanos al valor descrito para la especie y casi iguales en términos de la fracción mineral total del grano.

Los valores estimados para la proteína fueron de 15.91% para la pendiente del 20-30% y 19.75% para la pendiente del 40-50%, mientras que los valores de referencia fueron de 25.90-31.30%. Al mismo tiempo, el contenido de proteína de los cacahuetes de Casa Ingaru fue inferior a los valores obtenidos como referencia para *Arachis hypogaea L.* También se encontró que la proteína era mayor en la pendiente del 40-50% que en la pendiente del 20-30%. Sin embargo, la comparación debe entenderse ya que los valores de proteína en este estudio se estimaron a partir del nitrógeno total con el factor de conversión dado a continuación.

En términos de lípidos, encontramos contenidos entre 45.74 y 47.40% y ligeramente inferiores al valor de referencia de 49.20%. Pero, esta fracción fue la que se midió en la proporción más alta en los cacahuetes de Casa Ingaru, demostrando la importancia de esta parte de la proteína en los cacahuetes de Casa Ingaru.

La fibra mostró valores entre 8.40 y 9.54% en comparación con el valor de referencia de 8.50%. La pendiente del 20-30% estaba prácticamente en el mismo rango que el valor de referencia, y la pendiente del 40-50% fue ligeramente superior.

4.5. Integración del sistema suelo–planta bajo la influencia de la pendiente

El análisis integrado de los resultados permite establecer que la respuesta del sistema suelo–planta en Casa Ingaru no estuvo determinada exclusivamente por la inclinación del terreno. Aunque las pendientes evaluadas presentaron diferencias en determinadas características edáficas, estas variaciones no se reflejaron de manera estadísticamente significativa en el rendimiento ni en la composición nutricional del maní.

Dentro de las propiedades del suelo, la materia orgánica constituyó la variable con la respuesta más clara frente a las condiciones evaluadas. La pendiente del 40–50 % presentó un contenido de materia orgánica de 28,12 ± 0,53 %, superior al valor de 21,35 ± 0,92 % registrado en la pendiente del 20–30 %, diferencia que fue estadísticamente significativa ($p < 0,001$). Por el contrario, la densidad aparente no presentó diferencias significativas ($p = 0,0711$), aunque fue menor en la pendiente del 40–50 %. Ambas áreas, además, presentaron condiciones ácidas, con valores de pH comprendidos entre 4,55 y 5,00.

Estas diferencias demuestran que la topografía estuvo relacionada con una distribución diferenciada de determinadas características físicas y químicas del suelo. Sin embargo, la respuesta observada no siguió necesariamente el comportamiento esperado de una pérdida progresiva de fertilidad conforme aumenta la pendiente. Esto puede relacionarse con las condiciones particulares de manejo de las chacras, la conservación de la cobertura vegetal, la incorporación de residuos orgánicos y las prácticas tradicionales implementadas en el área de estudio.

En cuanto a la producción, el rendimiento promedio fue de 401,90 ± 264,34 kg ha^{-1} en la pendiente del 20–30 % y de 432,38 ± 108,66 kg ha^{-1} en la pendiente del 40–50 %. Aunque se observó un incremento descriptivo aproximado del 7,6 % en la pendiente de mayor inclinación, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0,100$). Por esta razón, los resultados no permiten atribuir directamente a la pendiente las diferencias observadas en la productividad del cultivo.

Un comportamiento semejante se presentó en la composición nutricional. La humedad se mantuvo entre 7,09 y 7,13 %, las cenizas entre 2,14 y 2,44 %, los lípidos entre 45,74 y 47,40 %, la fibra entre 8,40 y 9,54 % y el nitrógeno total entre 25 453,78 y 31 603,78 mg kg^{-1}. Ninguna de estas variables presentó diferencias estadísticamente significativas entre las pendientes. Esto evidencia que, pese a las variaciones encontradas en algunas

características del suelo, la composición nutricional del grano se mantuvo relativamente estable.

En consecuencia, bajo las condiciones específicas de Casa Ingaru, la pendiente puede considerarse un factor asociado con la variación de determinadas propiedades edáficas, pero no como un factor que por sí solo determine el rendimiento o la composición nutricional de *Arachis hypogaea L.* La respuesta observada debe comprenderse a partir de la interacción entre topografía, propiedades físicas y químicas del suelo, disponibilidad de nutrientes, condiciones ambientales y manejo tradicional de la chacra.

El principal aporte de este análisis integrado radica en demostrar que el maní cultivado en ambas condiciones topográficas mantuvo características nutricionales relativamente semejantes. De esta manera, además de evaluar el posible efecto de la pendiente, la investigación proporciona valores de referencia sobre la composición nutricional del maní cultivado en Casa Ingaru, información que puede servir como línea base para posteriores estudios realizados en la Amazonía ecuatoriana.

CONCLUSIONES

La información disponible sobre la composición nutricional del maní cultivado bajo las condiciones particulares de la Amazonía ecuatoriana y, específicamente, en las chacras de Casa Ingaru-Tena es limitada. En este contexto, la investigación permitió generar información de referencia sobre *Arachis hypogaea L*., registrándose contenidos de humedad entre 7,09 y 7,13 %, cenizas entre 2,14 y 2,44 %, lípidos entre 45,74 y 47,40 %, fibra entre 8,40 y 9,54 % y nitrógeno total entre 25 453,78 y 31 603,78 mg kg^{-1}. Estos resultados aportan una caracterización nutricional específica del maní producido bajo las condiciones ambientales, edáficas y de manejo de Casa Ingaru.

La comparación entre las pendientes de 20–30 % y 40–50 % permitió determinar que la composición nutricional del maní presentó variaciones numéricas, pero ninguna de las variables evaluadas alcanzó diferencias estadísticamente significativas. Por tanto, bajo las condiciones estudiadas no existe evidencia suficiente para afirmar que la inclinación del terreno haya modificado significativamente la composición nutricional del grano. Los contenidos de lípidos encontrados, entre 45,74 y 47,40 %, evidencian además que el maní producido en Casa Ingaru presenta una importante fracción lipídica, comparable con los valores descritos para *Arachis hypogaea* en otros estudios.

En relación con las propiedades del suelo, la materia orgánica fue la variable que presentó una diferencia estadísticamente significativa entre las pendientes ($p < 0,001$), con un valor de 21,35 ± 0,92 % en la pendiente del 20–30 % y de 28,12 ± 0,53 % en la pendiente del 40–50 %. La densidad aparente fue mayor en la pendiente del 20–30 %, pero la diferencia no alcanzó significancia estadística ($p = 0,0711$). Asimismo, ambas zonas presentaron condiciones ácidas, con valores de pH entre 4,55 y 5,00. De esta manera, la pendiente estuvo asociada con variaciones de determinadas propiedades edáficas, especialmente con la materia orgánica.

El rendimiento del maní tampoco presentó diferencias estadísticamente significativas entre las pendientes. Se registraron 401,90 ± 264,34 kg ha^{-1} en la pendiente del 20–30 % y 432,38 ± 108,66 kg ha^{-1} en la pendiente del 40–50 % ($p = 0,100$), equivalente a una diferencia descriptiva aproximada del 7,6 %. En consecuencia, la mayor inclinación del terreno no puede considerarse, por sí sola, responsable de las diferencias observadas en la producción. En conjunto, los resultados muestran que la pendiente estuvo asociada principalmente con variaciones descriptivas en determinadas propiedades del suelo; sin embargo, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento ni en la composición nutricional de *Arachis hypogaea* L. entre las pendientes evaluadas. Este comportamiento coincide parcialmente con lo señalado por Mulualem et al. (2021), quienes indican que la pendiente puede modificar las propiedades del suelo mediante procesos de erosión, escorrentía y redistribución de materia orgánica y nutrientes. Asimismo, Rayo-Álvarez et al. (2023) destacan que las características topográficas intervienen en la distribución espacial de las propiedades fisicoquímicas del suelo y, por tanto, pueden generar condiciones diferenciadas para el desarrollo de los cultivos. No obstante, en el presente estudio estas variaciones edáficas no se tradujeron en diferencias significativas en el rendimiento del maní, resultado que evidencia que la productividad no depende exclusivamente de la pendiente, sino de la interacción con otros factores edáficos, ambientales y de manejo. En cuanto a la composición nutricional, los resultados son consistentes con la evidencia de que esta característica responde a múltiples factores y no únicamente a las condiciones topográficas; Tang et al. (2025), por ejemplo, señalan que la composición química del maní está condicionada por la interacción entre el componente genético y las condiciones ambientales durante el desarrollo del cultivo. Por tanto, los resultados obtenidos en Casa Ingaru sugieren que, bajo las condiciones evaluadas, las diferencias de pendiente no fueron suficientes para generar cambios estadísticamente significativos en la composición nutricional del grano. Estos hallazgos aportan valores de referencia para el maní producido en la Amazonía ecuatoriana y constituyen una base para futuras investigaciones que incorporen un mayor número de parcelas y evalúen

conjuntamente pendiente, propiedades edáficas, condiciones ambientales, manejo agrícola, rendimiento y composición nutricional.

RECOMENDACIONES

Se recomienda mantener prácticas de manejo adaptadas a las condiciones topográficas de Casa Ingaru, considerando las diferencias observadas entre las pendientes evaluadas. La pendiente del 20–30 % presentó mayor densidad aparente y menor contenido de materia orgánica, mientras que la del 40–50 % registró menor densidad aparente y una mayor acumulación de materia orgánica. En ambas zonas resulta conveniente conservar la cobertura vegetal, mantener el aporte de residuos orgánicos y reducir la remoción innecesaria del suelo. En las áreas de mayor inclinación se recomienda fortalecer prácticas como la siembra siguiendo las curvas de nivel y el establecimiento de barreras vivas con especies adaptadas a las condiciones locales, con la finalidad de disminuir la escorrentía superficial y contribuir a la conservación del suelo. Estas medidas permitirían mantener las características físicas y químicas observadas y favorecer la sostenibilidad del sistema productivo.

Se recomienda conservar y fortalecer el aporte de materia orgánica mediante el aprovechamiento de hojarasca, residuos vegetales y materiales orgánicos disponibles dentro de la chakra, debido a su importancia para mantener la estructura y la actividad biológica del suelo. Asimismo, considerando que ambas pendientes presentaron condiciones ácidas, con valores de pH entre 4,55 y 5,00, se recomienda realizar un seguimiento periódico del pH y de la disponibilidad de nutrientes antes de establecer programas de fertilización o aplicar enmiendas. Los resultados obtenidos mediante FRX deben complementarse con análisis de nutrientes disponibles, debido a que esta técnica determina concentraciones elementales totales y no necesariamente las fracciones que pueden ser absorbidas por las plantas. También se recomienda continuar evaluando el uso de bioinsumos dentro del manejo del cultivo para determinar su contribución al mantenimiento de la fertilidad del suelo.

Para el establecimiento del cultivo se recomienda mantener prácticas agronómicas adaptadas a las condiciones locales y procurar un manejo uniforme entre las parcelas. La cosecha debe realizarse considerando el estado de madurez de las vainas para favorecer la calidad del grano. Posteriormente, se recomienda realizar un secado adecuado que permita mantener la humedad del maní en valores cercanos a los obtenidos en este estudio, aproximadamente entre 6 y 7 %, y conservar el producto en condiciones secas y ventiladas. Estas prácticas contribuirán a reducir el deterioro durante el almacenamiento y a preservar las características nutricionales del grano, especialmente el contenido de lípidos, que constituyó el componente mayoritario del análisis proximal realizado.

Se recomienda ampliar futuras investigaciones mediante el incremento del número de parcelas y repeticiones, con la finalidad de aumentar la capacidad estadística para identificar posibles diferencias en el rendimiento y la composición nutricional del maní entre condiciones de pendiente. Asimismo, sería conveniente evaluar la dinámica de los nutrientes durante diferentes etapas del ciclo del cultivo y comparar variedades locales y mejoradas de *Arachis hypogaea L.* bajo las condiciones edáficas y topográficas de la región. Adicionalmente, se recomienda incorporar análisis de otros componentes nutricionales, como proteínas, perfil de ácidos grasos y vitaminas, para complementar la caracterización de la calidad del grano. Esta información permitirá fortalecer las estrategias de manejo agronómico y contribuir a la sostenibilidad de la producción de maní dentro de los sistemas agrícolas de la Amazonía ecuatoriana

BIBLIOGRAFÍA

Abdullahi, Y., Ado, A., Baba, I., Garba, H., Salihu, M., Lawal, M., . . . Muhammad, F. (2021). Study on proximate composition of four genotypes of Arachis hypogea l. (groundnut). *International Journal of Scientific Reports, 7*(8), 369–373. doi:10.18203/issn.2454-2156.IntJSciRep20212831

Abril, R., Changoluisa, D., Morell, L., Toscano, M. y Péres, B. (2023). Soil cover on nutrient concentration in an agroecosystem in Napo, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana, 34*(3), 54138. doi:10.15517/am.2023.54138

Adiku, S., MacCarthy, D. y Kumahor, S. (2021). A conceptual modelling framework for simulating the impact of soil degradation on maize yield in data-sparse regions of the tropics. *Ecological Modelling, 448*, 109525. doi:10.1016/j.ecolmodel.2021.109525

Akashdeep Singh Brar, S. M. (2023). Estado de fertilidad del suelo y contenido de nutrientes del cacahuete de primavera (*Arachis hypogaea L*.) influenciado por la aplicación de yeso, nitrógeno y fósforo. *Revista Internacional de Ciencias Vegetales y del Suelo, 35*(19). https://journalijpss.com/index.php/IJPSS/article/view/3742

Alvarado-Ochoa, J., et al. (2024). Degradación del suelo y calidad nutricional. Revista de Ciencias Agrarias, 41(1), 33-47. https://doi.org/10.18184/rca.2024.41.1.450

AOAC. (2023). Official Methods of Analysis (21st ed.). Association of Official Analytical Chemists. https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/

Barreda, A., Alemán, R., Andrade, V., Colás, A., Acosta, N. y Chacón, A. (2024). Influencia de diferentes tipos de fertilizantes en indicadores morfoagronómicos del maní (*Arachis hypogaea L*.). *Revista Científica Y Tecnológica UPSE, 11*(2), 121-129. doi:10.26423/rctu.v11i2.849

Blacio, M. L., Guncay, I. G., Guerrero, J. N. y Batista, R. M. (2020). Caracterización morfoagronómica de 27 accesiones de maní (*Arachis hypogaea L*). *Investigación científica y educación: espacios de contextualización para el desarrollo socieconómico, 3*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.62452/yq5mg014

Boote, K. J. (1982). Growth stages of peanut (Arachis hypogaea L.). Peanut Science, 9(1), 35-40. https://doi.org/10.3146/i0095-3679-9-1-11

Brady, N. C. y Weil, R. R. (2016). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson. https://www.pearson.com

Bragg, D., Romanyà, J., Blanco-Moreno, J. M. y Sans, F. X. (2025). Tracking Soil Organic Carbon and Nitrogen Under Organic Management: A Temporal Perspective. *Agriculture*, *15*(20), 2117. https://doi.org/10.3390/agriculture15202117

Briones, J., et al. (2021). Limitaciones nutricionales en suelos tropicales. Enfoque UTE, 12(2), 55-68. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v12.n2.710

Burgos, T., Ileer, V., Peñaloza, E. y Martillo, J. (2023). Incremento del rendimiento del maní mediante la aplicación de microorganismos de montaña en la provincia del Guayas, Ecuador. *Journal of Positive School Psychology, 7*(5), 2421-2434. Obtenido de https://journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/10007

Canudo, M., et al. (2022). Valor nutricional del maní como alimento funcional. Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria, 42(3), 88-95. https://doi.org/10.12873/423canudo

Carreño, S., Jiménez, V. M. y Lázaro, A. Á. (2025). Materia orgánica y densidad aparente del suelo en agrosistemas convencionales. *Estrategias agroecológicas en los sistemas de producción agropecuarios del sureste de México*, 87-100. https://www.researchgate.net/publication/389785714_Materia_organica_y_densidad_aparente_del_suelo_en_agrosistemas_convencionales

Caudo, L., Boligen, G., Azuz, A., Demaría, M., Nepote, V. y Ryan, L. (2022). Snack saludable elaborado con harinas de maní y trigo. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de Córdoba, 79*, 1-13. Obtenido de https://revistas.unc.edu.ar/index.php/med/article/view/39071

Crusciol, C. A., Portugal, J. R., Bossolani, J. W., Moretti, L. G., Fernandes, A. M., García, J. L., García, G. L., Pilon, C. y Cantarella, H. (2021). Dinámica de la absorción y eliminación de macronutrientes por cultivares modernos de maní. *National Library of Medicine, 10*(10), 2167. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34685976/

de Oliveira, et al. (2021). Contenido proteico y aminoácidos en *Arachis hypogaea* L. Food Chemistry, 345, 128822. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128822

Dessalegn, A., Dachassa, N. y Wogi, L. (2025). Efecto de la aplicación de fósforo, potasio y estiércol en el rendimiento y los componentes del rendimiento del maní (*Arachis hypogaea L*.) en suelos ácidos de los distritos de Bako y Nedjo, Etiopía occidental. *Star, 14*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.20372/star.V14.i1.15

Dhaliwal, S. S., et al. (2019). Determinación de materia orgánica por pérdida por ignición. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50(15), 1880-1895. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1648011

European Commission. (2023). *Harmonised methodologies for assessing soil nutrient stock*. Publications Office of the European Union. https://holisoils.eu/wp-content/uploads/2024/03/Deliverable-1.1-Harmonised-methodologies-for-assessing-soil-nutrient-stock.pdf

FAO. (2021). Requerimientos edafoclimáticos de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/publications/es Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Standard operating procedure for soil total nitrogen*. FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb3646en

Gelaye, Y. y Luo, H. (2024). Optimización de la producción de maní (*Arachis hypogaea L*.): Perspectivas genéticas, adaptación climática y prácticas de manejo eficientes: Revisión sistemática. *MDPI, 13*(21), 2988. https://www.mdpi.com/2223-7747/13/21/2988

Ghosh, D. y Kaur, S. (2022). Soil fertility and plant nutrient management in tropical agriculture. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 185(2), 210-224. https://doi.org/10.1002/jpln.202100150

Greenfield, H. y Southgate, D. A. T. (2003). Food composition data: production, management and use (FAO). https://www.fao.org/3/y4700e/y4700e00.htm

Hama-Ba, F., et al. (2022). Variaciones de altitud y condiciones del suelo. Catena, 208, 105750. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105750

Herramientas de Soporte a las Decisiones HSD. (2021). Métodos de medición de pendiente. Manual técnico. https://hsd-tech.org/manuales/pendiente

Herrera, F., et al. (2024). Composición lipídica y ácidos grasos en maní. Journal of Food Composition and Analysis, 126, 105912. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105912

Herrera, M., Chisaguano, A., Jumbo, J., Castro, N. y Achundia, A. (2024). Tabla de composición química de los alimentos: basada en nutrientes de interés para la población ecuatoriana. *Bitácora Académica, 11*, 1-12. doi:10.18272/ba.v11i.3326

Huera, et al. (2025). Indicadores de calidad edáfica en sistemas agroforestales amazónicos. Revista Amazónica, 18(1), 45-60. https://doi.org/10.26820/amazonica/18.1.2025.45-60

Huluka, G. y Miller, R. O. (2014). Soil Sample Collection and Handling. Southern Cooperative Series Bulletin. https://www.nrcs.usda.gov/

International Organization for Standardization. (1995). *ISO 11261: Soil quality—Determination of total nitrogen—Modified Kjeldahl method*. ISO. https://www.iso.org/standard/19239.html

Jiménez, L., Andrade, E., Capa, E., Fierro, N., Quichimbo, P., Jimenez, W. y Carrión, V. (2021). Traditional knowledge on soil management and conservation in the inter-Andean region, northern Ecuador. *Spanish Journal of Soil Science*(11), 1-15. doi:10.3232/SJSS.2021.V11.N1.05

Kamal, M., et al. (2023). Fertilización fosfatada y potásica en Arachis hypogaea L. Industrial Crops and Products, 194, 116340. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116340

López López, M. Á. (2005). Un procedimiento alternativo al tradicional para la medición de alturas con clinómetro. *Madera y Bosques, 11*(2), 69–77. https://doi.org/10.21829/myb.2005.1121257

Lu, Y., Dai, H., Zamanian, K., Sun, Q., Wang, C., Wu, Z. y Yu, T. (2023). Liming shifts the chemical properties and microbial community structures of peanut soils with different initial pH values. *Applied Soil Ecology, 181*, 104665. doi:10.1016/j.apsoil.2022.104665

Macias, E., et al. (2024). Importancia de la fertilidad del suelo en el cultivo de maní. Siembra, 11(1), e6789. https://doi.org/10.29166/siembra.v11.1.6789

Mandal, D., Chandrakala, M., Alam, N., Roy, T. y Mandal, U. (2021). Assessment of soil quality and productivity in different phases of soil erosion with the focus on land degradation neutrality in tropical humid regions of India. *Catena, 204*(105440), 1-15. doi:10.1016/j.catena.2021.105440

Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9

Medrano, H., Bota, J., Llompart, J. C. y Flexas, J. (2026). *Eficiencia en el uso del agua por las plantas.* https://www.researchgate.net/publication/277999463_Eficiencia_en_el_uso_del_agua_por_las_plantas

Mendoza, R. B. y Espinoza, A. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelos*. Universidad Nacional Agraria. https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf

Montesdeoca, J. L., Cedeño, N. M., Sánchez, D. M. y Mendoza, M. J. (2024). Producción de maní y su impactó en la economía del Ecuador. *30*(4). https://doi.org/https://doi.org/10.31876/rcs.v30i4.43000

Mulualem, T., et al. (2021). Efecto de la pendiente en la fertilidad del suelo. Heliyon, 7(8), e07722. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07722

Murray, N. R., Guadalupe, O. B. y Flores Vilchez Fernando, M. F. (2021). La acumulación de materia orgánica mejora el suelo en un sistema agroforestal. *Abanico Agroforestal, 3*, 1-17. file:///C:/Users/canto/Downloads/DialnetLaAcumulacionDeMateriaOrganicaMejoraElSueloEnUnSis-8232162.pdf

Oliveira, N., Soares, G., Saath, R., Santi, D., de Oliveira, G. y de Souza, C. (2021). Quality of peanuts stored in different packaging. *Research, Society and Development, 10*(3), e24910313287. doi:10.33448/rsd-v10i3.13287

Owji, K., et al. (2015). Determinación de la densidad real del suelo. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 14(2), 150-155. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.002

Pedelini, R. (2012). *Maní: Guía práctica para su cultivo* (2.ª ed., Boletín de Divulgación Técnica N.° 2). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, y Fundación Maní Argentino. https://www.ciacabrera.com.ar/docs/Mani%2C%20Guia%20practica%20para%20su%20cultivo%20segunda%20edicion.pdf

Pisani, C. y Soriano Disla, J. M. (2026). *D3.1 Catalogue of soil health indicators*. Proyecto iCOSHELLs, Comisión Europea.https://www.icoshells.eu/wp-content/uploads/2025/12/D3.1-Catalogue-of-soil-indicators-iCOSHELLs_updated-110226.pdf

Polanía-Hincapié, et al. (2021). Efecto de sistemas silvopastoriles en la densidad aparente del suelo. Agroforestry Systems, 95(3), 511-525. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00592-3

Qu, C. L., Li, Z., Yang, Q., Wang, X. y Wang, D. (2022). Efecto de los métodos de secado en la calidad del cacahuete durante el almacenamiento. *National Library of Medicine, 71*(1), 57-66. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34880148/

Quezada, C., Carrillo, M., Morales, F. y Carrillo, R. (2017). Nutrient critical levels and availability in soils cultivated with peach palm (Bactris gasipaes Kunth.) in Santo Domingo de Los Tsáchilas, Ecuador. *Acta Agronómica, 66*(2), 1-15. doi:10.15446/acag.v66n2.55026

Rayo-Álvarez, D., Uribe-Ceballos, J., Rodríguez-Restrepo, R., Cadavid-López, L. y Ortiz-Grisales, S. (2023). Online fertility formulation for tropical crops based on physical- chemical analysis of soil. *Acta Agronómica, 71*(4), 388-395. doi:10.15446/acag.v71n4.106214

Romero Cún, A. R. y Loayza Agurto, M. G. (2023). Efectos del Uso de Trichoderma Spp. en Suelo Arcilloso Salino y Plantas de Banano Etapa Vegetativa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(5), 7111-7132. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8293

Rosas, G., Ávila, E. y Sánchez, V. (2024). La acidez del suelo limita la producción agrícola: una revisión enfocada en la amazonia colombiana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 16*(1), 1-15. doi:10.22490/21456453.7857

Salazar, R., Alegre, J., Pizarro, D., Duff, A. J., García, C. y Gómez, C. (2024). Soil carbon stock potential in pastoral and silvopastoral systems in the Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems, 98*, 2157–2167. https://doi.org/10.1007/s10457-024-00969-w

Sales, A., et al. (2024). Procedimientos de laboratorio para análisis edafológicos. Brazilian Journal of Soil Science, 48, e0230055. https://doi.org/10.36783/18069671rbcs20230055

Sales-Dávila, B., Samaniego-Vivanco, T. D., Durand-Pasco, K. A., Norabuena-Segovia, Á. A., Calderón-Espinoza, R. J., Ortega-Vega, J. M. y Munayco-Peralta, K. E. (2024). *Manual para el análisis de suelos agrícolas y agua para riego*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). https://hdl.handle.net/20.500.12955/2473

Sánchez-Capa, M., Corell, M. y Mestanza-Ramón, C. (2023). Edible Fruits from the Ecuadorian Amazon: Ethnobotany, Physicochemical Characteristics, and Bioactive Components. *Plants, 12*(20), 3635. doi:10.3390/plants12203635

Sauvadet, M., Trap, J., Damour, G., Plassard, C., Van den Meersche, K., Achard, R. y Freschet, G. (2021). Agroecosystem diversification with legumes or non-legumes improves differently soil fertility according to soil type. *The Science of Total Environment, 15*(795), 148934. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148934

Shi-cheng, Z., Ji-Long, L., Xin-peng, X., Xiao-mao, L., Rosso, L., Shao-jun, Q. y Ping, H. (2021). Peanut yield, nutrient uptake and nutrient requirements in different regions of China. *Journal of Integrative Agriculture, 20*(9), 2502-2511. doi:10.1016/S2095-3119(20)63253-1

Singh, V., y Geneti, T. (2020). Assessment of selected soil chemical properties at different depths and altitudes for groundnut (*Arachis hypogaea L*.) production in Hakim Gara shrub land of Harari Region of eastern Ethiopia. *Journal of Oilseeds Research, 37*(4), 1-15. doi:10.56739/jor.v37i4.136748

Sornoza, A. J., Mendoza, J. M. y Rodríguez, R. B. (2024). Macronutrientes en el cultivo de maní (*Arachis hypogaea L*.): una revisión. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente, 2*(23). https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.14433147

Strahlhofer, M., Gerzabek, M., Rampazzo, N., Couenberg, P., Vera, E., Salazar, X. y Zehetner, F. (2021). Soil Fertility Changes With Climate and Island Age in Galápagos: New Baseline Data for Sustainable Agricultural Management. *Frontiers in Environmenta Science, 9*(6), 1-15. doi:10.3389/fenvs.2021.788082

Suyana, J. y Nugraheni, N. (2022). Effect of Mulch and Strengthened Terrace Strips on Erosion, Sediment Enrichment Ratio, and Nutrient Loss Through Erosion. *Journal of Tropical Soils, 27*(3), 1-15. doi:10.5400/jts.2022.v27i3.133-145

Tang, Y., Cao1, S., Zhang, C., Hu, W., Zhou, H., Wang, M., Zhu, L., Chen, J., Zhang, J. y Zhang, J. (2025). El composición químico y nutracéutico del maní difiere no fija sino se condiciona por el cruce genético y el medio ambiente durante el crecimieto. Las diferencias entre linajes alteran la cantidad de proteina, grasas, azucares y substancias con bioactivid. *Original Research, 16*(09). https://doi.org/doi: 10.3389/fpls.2025.1609969

Tigrero-Zapata, G., Vásconez-Montúfar, G., Ferrer-Sánchez, Y., Cedeño-Moreira, A., Nieto, C. y Abasolo, F. (2022). Identificación del potencial agrícola de suelos en la Amazonía Ecuatoriana, a partir de variables físico-químicas, microbiológicas y ambientales. *Revista Terra Latinoamericana, 40*, 1-15. doi:10.28940/terra.v40i0.1294

Torres, A., et al. (2024). Valor económico y usos industriales del maní. Economía Agraria, 44(1), 89-104. https://doi.org/10.7764/rcia.v44i1.7200

USDA. (2023). Guía de procedimientos para el análisis de suelos. United States Department of Agriculture. https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-survey-manual

Valdivieso, C., García, D., Solórzano, J., Saltos, V. y Saldarriaga, V. (2021). Efecto de diferentes láminas de riego localizado, sobre la productividad y rentabilidad del maní. *La Técnica, 11*(2), 2-15. doi:10.33936/la_tecnica.v0i26.2456

Vela, M., et al. (2012). Espectrometría de fluorescencia de rayos X y extracción Soxhlet. Analytical Methods, 4(8), 2450-2458. https://doi.org/10.1039/C2AY25100B

Villaseñor, J. (2016). Técnicas de análisis nutricional de alimentos. Editorial Trillas. https://www.trillas.com.mx

Vizuete-Montero, et al. (2026). Sistemas agrícolas diversificados en Napo. Revista Amazónica de Investigación, 15(1), 12-28. https://doi.org/10.33936/rai.v15i1.6500

Wubie, A. y Assen, M. (2020). Rendimiento y biomasa del cultivo en secuencias topográficas. Environmental Systems Research, 9, Article 15. https://doi.org/10.1186/s40068-020-00175-y

Zagal, E. y Sadzawka, A. (2007). *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos*. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/metodos_lodos_suelos.pdf

Zambrano, J., Palacios, N., Bravo, D. y Alava, M. (2024). Producción de maní y su impactó en la economía del Ecuador. *Revista De Ciencias Sociales, 30*(4), 323-338. doi:10.31876/rcs.v30i4.43000

ANEXOS



Anexo A. Preparación del suelo



Anexo B. *Distribución de las parcelas*

Pendiente	Parcela	Peso de planta (kg)	Peso de vainas (kg)	Rendimiento ($kgha^{-1}$)	Nitrógeno Total	Humedad (%)	Cenizas (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)
Pendiente (20-30%)	P1	4.22	4.94	705.71	17 996.33	6.08	2.09	47.26	8.08
	P2	4.14	1.52	217.14	27 048.00	7.54	2.30	48.05	7.82
	P3	4.10	1.98	282.86	31 648.33	7.77	2.93	41.92	9.32
	Media ± DE	**4.15 ± 0.06**	**2.81 ± 1.85**	**401.90 ± 264.34**	**25 453.78 ± 7 128.34**	**7.13 ± 0.91**	**2.44 ± 0.43**	**45.74 ± 3.35**	**8.40 ± 0.80**
Pendiente (40-50%)	P1	2.31	2.15	307.14	30 902.33	7.08	2.11	46.42	8.97
	P2	4.22	3.51	501.43	32 212.67	7.17	2.16	51.82	9.59
	P3	4.15	3.42	488.57	31 696.33	7.01	2.14	43.95	10.05
	Media ± DE	**3.56 ± 1.10**	**3.03 ± 0.75**	**432.38 ± 108.66**	**31 603.78 ± 659.97**	**7.09 ± 0.08**	**2.14 ± 0.03**	**47.40 ± 3.99**	**9.54 ± 0.54**

Anexo C. Producción y composición nutricional del maní (*Arachis hypogaea L.)* por parcela en las pendientes evaluadas de Casa Ingaru, Tena.

Nota. El rendimiento de vainas ($kg\ ha^{-1}$) se calculó mediante la ecuación:

$$Rendimiento\,(kg\ ha^{-1}) = \frac{Peso\ de\ vainas\ (kg)}{70m^2} * 10\,000$$

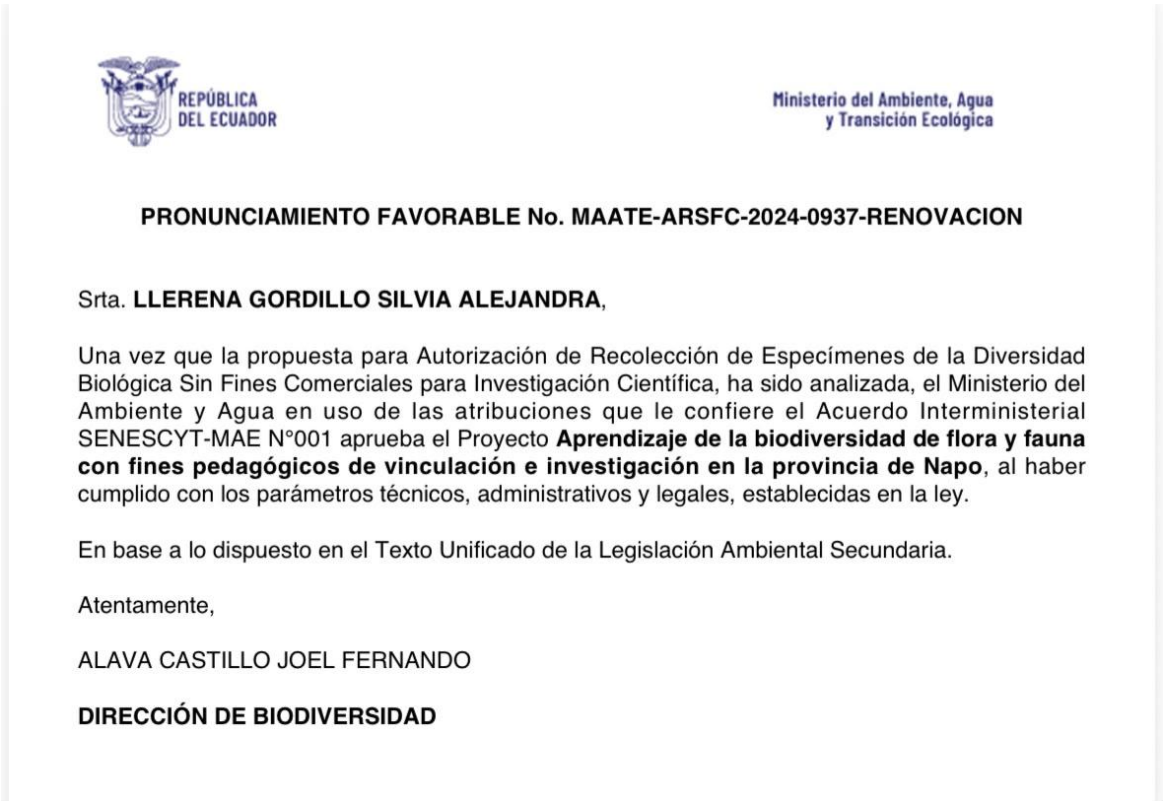
considerando un área experimental de 70 m² por parcela. Los valores de humedad, cenizas y lípidos corresponden al análisis bromatológico realizado sobre muestras representativas de cada parcela. Los resultados de la fila "Media ± DE" representan el promedio y la desviación estándar de las tres parcelas por pendiente.

Propiedad	**Unidad**	**Pendiente moderada (20–30 %)**	**Pendiente fuerte (40–50 %)**
Propiedades físicas			
Densidad aparente	$g\ cm^{-3}$	0,511 ± 0,041	0,413 ± 0,057
Densidad real	$g\ cm^{-3}$	2,052 ± 0,408	1,647 ± 0,145
Arena	%	38,88	38,88
Limo	%	6,00	8,00
Arcilla	%	55,12	53,12

Clase textural	USDA	Arcillosa	Arcillosa
Propiedades químicas			
pH	—	5,00	4,55
Conductividad eléctrica (CE)	µS cm^{-1}	30,70	51,20
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg L^{-1}	21,45	35,10
Materia orgánica	%	21,35 ± 0,92	28,12 ± 0,53
Carbono orgánico	%	12,39 ± 0,54	16,31 ± 0,31
COS (0–30 cm)	Mg ha^{-1}	189,71 ± 14,39	202,20 ± 31,00
Nitrógeno orgánico	mg kg^{-1}	5224	1282
Nitrógeno total	%	0,522	0,128
Composición elemental (FRX)			
Mg	ppm	7214 ± 1780	7753 ± 1797
Al	ppm	93615 ± 708	85101 ± 735
Si	ppm	247770 ± 1577	249140 ± 962
P	ppm	304 ± 9,72	359 ± 12,3
S	ppm	384 ± 37,6	686 ± 36,2
K	ppm	5734 ± 91,7	5750 ± 18,8
Ca	ppm	12162 ± 80,5	12617 ± 55,3
Ti	ppm	4985 ± 58,1	4375 ± 62,1
Mn	ppm	687 ± 10,8	657 ± 18,8
Fe	ppm	45689 ± 128	40782 ± 79,6

Anexo D. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo según el grado de pendiente

Nota. Los valores se presentan como media ± desviación estándar cuando se dispuso de tres observaciones independientes. La pendiente moderada corresponde a 20–30 % y la pendiente fuerte a 40–50 %. El COS corresponde al stock de carbono orgánico del suelo calculado a una profundidad de 0–30 cm utilizando la densidad aparente individual de cada parcela. La composición elemental se determinó mediante fluorescencia de rayos X (FRX).



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

PRONUNCIAMIENTO FAVORABLE No. MAATE-ARSFC-2024-0937-RENOVACION

Srta. **LLERENA GORDILLO SILVIA ALEJANDRA**,

Una vez que la propuesta para Autorización de Recolección de Especímenes de la Diversidad Biológica Sin Fines Comerciales para Investigación Científica, ha sido analizada, el Ministerio del Ambiente y Agua en uso de las atribuciones que le confiere el Acuerdo Interministerial SENESCYT-MAE N°001 aprueba el Proyecto **Aprendizaje de la biodiversidad de flora y fauna con fines pedagógicos de vinculación e investigación en la provincia de Napo**, al haber cumplido con los parámetros técnicos, administrativos y legales, establecidas en la ley.

En base a lo dispuesto en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria.

Atentamente,

ALAVA CASTILLO JOEL FERNANDO

DIRECCIÓN DE BIODIVERSIDAD

Anexo E. Pronunciamiento favorable para la autorización de recolección de especímenes de diversidad biológica con fines de investigación científica

Nota. Pronunciamiento favorable No. MAATE-ARSFC-2024-0937-RENOVACIÓN, emitido por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), correspondiente al proyecto *Aprendizaje de la biodiversidad de flora y fauna con fines pedagógicos de vinculación e investigación en la provincia de Napo*.