

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"



CULTIVO DE MAIZ FORRAJERO Y UTILIDAD

Nombre del estudiante

Canales Portugal Maribel

Lugar y fecha

Ica -2025

Nombre de la institución.

INSTITUTO SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL: IDEMA

Nombre de la carrera.

Agropecuaria

Nombre de la asignatura

PRODUCCIÓN DE PASTOS Y FORRAJES

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
DESARROLLO DEL TEMA.....	3
1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL MAÍZ FORRAJERO.....	4
1.1. Origen.....	4
1.2. Distribución mundial.....	4
1.3. Distribución en el Perú.....	5
2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA.....	5
2.1. Clasificación taxonómica.....	5
2.2. Morfología.....	6
3. VARIEDADES DE MAÍZ FORRAJERO.....	7
3.1. Tipos de variedades.....	7
3.2. Variedades destacadas en Perú.....	8
4. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS.....	9
4.1. Clima.....	9
4.2. Suelo.....	10
5. MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO.....	11
5.1. Preparación del terreno.....	11
5.2. Siembra.....	12
5.3. Fertilización.....	13
5.4. Riego.....	14
5.5. Control de malezas.....	15
5.6. Manejo fitosanitario.....	16
5.7. Cosecha.....	18
6. VALOR NUTRICIONAL DEL MAÍZ FORRAJERO.....	20
6.1. Composición nutricional según estado fenológico.....	20
6.2. Factores que afectan la calidad nutritiva.....	22
7. UTILIZACIÓN DEL MAÍZ FORRAJERO.....	24
7.1. Forraje fresco.....	24
7.2. Ensilaje.....	24
7.3. Maíz para molienda y otros usos.....	27
8. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	29
8.1. Importancia económica.....	29
8.2. Perspectivas futuras.....	30
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33

INTRODUCCIÓN

El maíz forrajero representa uno de los cultivos de mayor importancia para la alimentación del ganado a nivel mundial, destacándose por su alto rendimiento de biomasa y su excelente valor nutricional. En el Perú, este cultivo ha adquirido relevancia significativa en los sistemas de producción ganadera, especialmente en las regiones donde la disponibilidad de forraje de calidad es limitada durante ciertas épocas del año.

Este trabajo tiene como objetivo principal realizar un análisis detallado del cultivo de maíz forrajero, abarcando desde sus orígenes y características taxonómicas hasta las técnicas modernas de manejo agronómico y su utilización en la alimentación animal. Se explorará su distribución geográfica tanto a nivel mundial como en el contexto peruano, las variedades más utilizadas para propósitos forrajeros, así como los requerimientos edafoclimáticos necesarios para su óptimo desarrollo.

Asimismo, se profundizará en aspectos relacionados con el manejo del cultivo, desde la preparación del terreno y siembra hasta la cosecha, considerando las prácticas culturales más eficientes y sostenibles. Se analizará el valor nutricional del maíz forrajero según su estado fenológico y las diversas formas de utilización como recurso alimenticio para el ganado, incluyendo su aprovechamiento como forraje fresco, ensilado y molienda.

La información presentada en este trabajo constituye una herramienta valiosa para profesionales, estudiantes y productores interesados en optimizar la producción de forraje de calidad, contribuyendo así al desarrollo de sistemas ganaderos más eficientes y sostenibles en el contexto actual.

DESARROLLO DEL TEMA

1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL MAÍZ FORRAJERO

1.1. Origen

El maíz (*Zea mays* L.) es originario de Mesoamérica, específicamente de la región que hoy conocemos como México. Los hallazgos arqueológicos sugieren que su domesticación comenzó hace aproximadamente 10,000 años en el valle de Tehuacán (Sánchez-González et al., 2021). El maíz forrajero, como variante específica, se desarrolló a partir de la selección de plantas con mayor producción de biomasa y mejor calidad nutricional para la alimentación animal.

Estudios paleobotánicos recientes han permitido identificar que el ancestro silvestre del maíz es el teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), una gramínea que aún crece en algunas regiones de México. La transformación del teosinte en el maíz moderno representa uno de los ejemplos más notables de domesticación vegetal realizada por el ser humano (Vallebuena-Estrada et al., 2020).

1.2. Distribución mundial

El maíz forrajero se cultiva actualmente en todos los continentes excepto la Antártida, adaptándose a una amplia variedad de condiciones climáticas desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 3,800 metros. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), los principales productores mundiales de maíz para forraje son:

- Estados Unidos
- China
- Brasil
- Argentina
- México
- Francia
- Ucrania
- India
- Canadá
- Sudáfrica

La expansión del cultivo de maíz forrajero ha sido impulsada principalmente por el crecimiento de la industria ganadera intensiva, donde representa un componente fundamental en las dietas de rumiantes debido a su alto contenido energético y capacidad de producción de biomasa por unidad de superficie.

1.3. Distribución en el Perú

En el Perú, el cultivo de maíz forrajero ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, principalmente en las regiones ganaderas. Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2022), las principales zonas productoras se encuentran en:

- La costa norte (Lambayeque, La Libertad)
- La costa central (Lima, Ica)
- Los valles interandinos (Cajamarca, Junín, Cusco)
- Algunas regiones de la selva alta

De acuerdo con las estadísticas agrarias más recientes, la superficie cultivada de maíz chala (forrajero) en el Perú supera las 40,000 hectáreas, con rendimientos promedio que oscilan entre 40 y 80 toneladas de materia verde por hectárea, dependiendo de la zona de producción y el nivel tecnológico empleado (MIDAGRI, 2022).

2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

2.1. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del maíz forrajero es la siguiente:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae (Gramíneas)
- Género: Zea
- Especie: Zea mays L.
- Subespecie: Zea mays L. ssp. mays

Es importante destacar que el maíz forrajero no constituye una especie o subespecie diferente del maíz para grano, sino que corresponde a variedades e híbridos seleccionados específicamente por su capacidad de producción de biomasa y

características nutricionales favorables para la alimentación animal (Orozco-Martínez et al., 2022).

2.2. Morfología

La planta de maíz forrajero presenta las siguientes características morfológicas:

Sistema radicular: Fasciculado, con raíces adventicias que emergen de los nudos inferiores del tallo, proporcionando anclaje y capacidad de absorción de nutrientes. Las raíces pueden alcanzar hasta 1.5 metros de profundidad, aunque la mayor concentración se encuentra en los primeros 60 cm del suelo.

Tallo: Erecto, robusto, compuesto por nudos y entrenudos. En las variedades forrajeras modernas, la altura puede variar entre 2 y 4 metros. El diámetro oscila entre 3 y 5 cm, con una estructura interna esponjosa rica en azúcares solubles.

Hojas: Alternas, paralelinervadas, con vaina que envuelve al tallo y lámina alargada de bordes ásperos. Las variedades forrajeras suelen presentar mayor número de hojas (entre 15 y 22) en comparación con las variedades para grano.

Inflorescencia masculina (panoja): Terminal, ramificada, productora de polen.

Inflorescencia femenina (mazorca): Lateral, axilar, compuesta por un raquis donde se insertan los granos en hileras.

Granos: Frutos tipo cariósido con pericarpio fusionado al endospermo. En las variedades forrajeras, el desarrollo completo del grano no es siempre prioritario, ya que la cosecha suele realizarse cuando el grano está en estado lechoso-pastoso, maximizando así el contenido nutricional de toda la planta.

En las variedades específicamente desarrolladas para forraje, se ha buscado potenciar características como:

- Mayor altura y robustez de planta
- Mayor número y tamaño de hojas
- Mayor proporción tallo/hoja favorable
- Mayor contenido de azúcares en el tallo
- Mejores características para ensilaje

3. VARIEDADES DE MAÍZ FORRAJERO

3.1. Tipos de variedades

Las variedades de maíz utilizadas con fines forrajeros pueden clasificarse en:

Variedades de polinización abierta: Son aquellas que mantienen sus características genéticas generación tras generación cuando se cultivan en condiciones similares. En el Perú, destacan variedades tradicionales como la Chala Cusco, adaptada a zonas altoandinas.

Híbridos convencionales: Resultado del cruzamiento controlado entre líneas puras seleccionadas. Presentan mayor rendimiento y uniformidad, pero requieren la compra de semilla para cada ciclo de cultivo. Entre los híbridos utilizados en Perú destacan:

- Pioneer P1596
- Dekalb DK7508
- Syngenta NK703
- INIA 617

Híbridos BMR (Brown Mid-Rib o nervadura central marrón): Variedades con menor contenido de lignina, lo que mejora significativamente la digestibilidad de la fibra. Esta característica se identifica visualmente por la coloración marrón de la nervadura central de las hojas.

Híbridos Bt: Incorporan genes de la bacteria *Bacillus thuringiensis* que les confieren resistencia a ciertas plagas, reduciendo la necesidad de aplicación de insecticidas.

Híbridos stay green: Caracterizados por mantener la planta verde por más tiempo después de la madurez fisiológica, lo que permite ampliar la ventana de cosecha manteniendo una buena calidad nutritiva.

3.2. Variedades destacadas en Perú

En el contexto peruano, las investigaciones recientes han permitido desarrollar variedades adaptadas a las diversas condiciones agroecológicas del país. Según Chura et al. (2021), las principales variedades desarrolladas y recomendadas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) para uso forrajero son:

INIA 617 - Chuska: Desarrollada específicamente para la producción de forraje en la sierra, con rendimientos superiores a 80 t/ha de materia verde. Presenta buena adaptación a altitudes entre 2,000 y 3,200 msnm.

INIA 619 - Megahíbrido: Aunque fue desarrollado principalmente para grano, ha mostrado excelentes resultados como forraje en la costa y selva, con rendimientos de hasta 100 t/ha de materia verde.

PMV-581: Variedad de polinización abierta con buena adaptación a condiciones de costa y selva baja, con rendimientos de 60-70 t/ha de forraje verde.

Opaco Mal Paso: Variedad tradicional mejorada, adaptada a la sierra sur, con alto contenido de proteína y buena palatabilidad.

Los principales factores a considerar para la selección de variedades forrajeras, según Martínez et al. (2022), incluyen:

- Adaptación a las condiciones edafoclimáticas locales
- Rendimiento de materia seca por hectárea
- Relación hoja/tallo
- Contenido de azúcares solubles
- Digestibilidad de la fibra
- Resistencia a plagas y enfermedades
- Tolerancia a condiciones de estrés (sequía, salinidad)

4. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

4.1. Clima

El maíz forrajero, al igual que el maíz para grano, presenta requerimientos climáticos específicos que determinan su óptimo desarrollo:

Temperatura: El rango óptimo para el desarrollo del cultivo oscila entre 25°C y 30°C durante el día, y entre 15°C y 21°C durante la noche. Las temperaturas extremas (inferiores a 10°C o superiores a 35°C) afectan negativamente el desarrollo fisiológico de la planta (Contreras-Quiroz et al., 2023).

Precipitación: El requerimiento hídrico del maíz forrajero oscila entre 500 y 800 mm bien distribuidos durante el ciclo de cultivo, con mayor demanda durante las etapas de floración y llenado de grano. En condiciones de riego, el consumo puede alcanzar hasta 10,000 m³/ha.

Fotoperiodo: El maíz es una planta de día corto, aunque las variedades modernas han sido seleccionadas para mostrar menor sensibilidad al fotoperiodo, lo que ha permitido su adaptación a diversas latitudes.

Radiación solar: Factor determinante para la fotosíntesis y acumulación de materia seca. Se estima que por cada 1% de reducción en la radiación solar, el rendimiento puede disminuir entre 0.8% y 1.2%.

Altitud: En el Perú, el maíz forrajero se cultiva desde el nivel del mar hasta los 3,800 msnm, con variedades específicamente adaptadas a cada piso altitudinal.

4.2. Suelo

Los requerimientos edáficos para el óptimo desarrollo del maíz forrajero incluyen:

Textura: Prefiere suelos francos, franco-arcillosos o franco-arenosos, con buena capacidad de retención de humedad pero sin problemas de encharcamiento.

pH: El rango óptimo se sitúa entre 6.0 y 7.5, aunque puede tolerar condiciones ligeramente más ácidas (hasta pH 5.5) o alcalinas (hasta pH 8.0).

Materia orgánica: Contenidos superiores al 3% favorecen la estructura del suelo, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes.

Profundidad efectiva: Requiere suelos con al menos 60 cm de profundidad para permitir un adecuado desarrollo radicular.

Drenaje: Necesita suelos bien drenados, ya que es sensible al encharcamiento prolongado.

Salinidad: Moderadamente tolerante a la salinidad, con umbral de conductividad eléctrica de aproximadamente 2.5 dS/m. Por encima de este valor, se observan reducciones progresivas en el rendimiento.

De acuerdo con Lozano-Ramírez et al. (2022), los suelos aluviales de los valles costeros e interandinos del Perú presentan características físico-químicas favorables para el cultivo de maíz forrajero, aunque requieren un manejo adecuado de la fertilización y el riego para expresar su máximo potencial productivo.

5. MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO

5.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno para el cultivo de maíz forrajero debe realizarse considerando las características del suelo y las condiciones específicas de cada zona. Según Merino-Godos et al. (2020), el proceso comprende:

Análisis de suelo: Fundamental para determinar las condiciones físico-químicas del terreno y establecer las necesidades de enmiendas y fertilización. Se recomienda realizar este análisis al menos con tres meses de anticipación a la siembra.

Limpieza del terreno: Eliminación de residuos del cultivo anterior y malezas. Esta labor puede realizarse de forma manual, mecánica o mediante el uso de herbicidas de amplio espectro, dependiendo de la extensión del terreno y las condiciones locales.

Labranza primaria: Incluye la aradura o roturación del suelo a una profundidad de 25-30 cm. En suelos pesados o compactados puede ser necesario el subsolado para romper capas impermeables.

Labranza secundaria: Consiste en el desterronado y nivelación del terreno mediante rastra o grada de discos. El objetivo es lograr una cama de siembra con estructura granular que facilite la germinación uniforme y el establecimiento inicial del cultivo.

Surcado: En condiciones de riego por gravedad, se realizan surcos con espaciamiento acorde a la densidad de siembra planificada, generalmente entre 70 y 80 cm.

En zonas con pendiente pronunciada, como algunas áreas de la sierra peruana, es fundamental implementar prácticas de conservación de suelos como el surcado en contorno o la construcción de terrazas para prevenir la erosión hídrica.

5.2. Siembra

El proceso de siembra del maíz forrajero requiere consideraciones específicas para garantizar un establecimiento adecuado del cultivo:

Época de siembra: Varía según la región y las condiciones climáticas locales. En la costa peruana, se puede sembrar durante todo el año, con preferencia entre abril y septiembre. En la sierra, la siembra se concentra al inicio de la temporada de lluvias (octubre-diciembre).

Densidad de siembra: Para producción forrajera se utilizan densidades más altas que para producción de grano. Castillo-Manyá et al. (2023) recomiendan:

- En condiciones de riego: 80,000-100,000 plantas/ha
- En condiciones de seco: 60,000-80,000 plantas/ha

Profundidad de siembra: Entre 3 y 5 cm, dependiendo de la textura del suelo. En suelos arenosos se recomienda una mayor profundidad para asegurar el contacto con humedad.

Métodos de siembra:

- Manual: Utilizando sembradoras manuales ("tambos") o a espeque en pequeñas extensiones.
- Mecanizada: Con sembradoras de precisión que permiten regular la distancia entre plantas y la profundidad de siembra.

Cantidad de semilla: Varía según el peso de mil semillas y la densidad objetivo. Para las densidades recomendadas, se requieren entre 25 y 35 kg/ha de semilla.

Tratamiento de semilla: Se recomienda el uso de semillas tratadas con productos fungicidas e insecticidas para proteger la germinación y el establecimiento inicial del cultivo.

5.3. Fertilización

La fertilización adecuada es fundamental para alcanzar altos rendimientos y calidad nutritiva en el maíz forrajero. Según Escobedo-López et al. (2021), los requerimientos nutricionales por tonelada de materia seca producida son:

- Nitrógeno (N): 12-15 kg
- Fósforo (P_2O_5): 5-7 kg
- Potasio (K_2O): 12-15 kg
- Calcio (CaO): 5-6 kg
- Magnesio (MgO): 3-4 kg
- Azufre (S): 2-3 kg

Para un rendimiento objetivo de 15-20 toneladas de materia seca por hectárea (equivalente a 45-60 toneladas de forraje verde), las dosis recomendadas son:

Nitrógeno: 200-300 kg/ha, fraccionado en 2-3 aplicaciones: 30% a la siembra, 40% al inicio del crecimiento vegetativo (V6) y 30% antes de la floración.

Fósforo: 80-120 kg/ha de P_2O_5 , aplicado en su totalidad como abono de fondo (a la siembra).

Potasio: 150-200 kg/ha de K_2O , con aplicación del 50% a la siembra y 50% durante el crecimiento vegetativo.

Micronutrientes: En suelos con deficiencias identificadas, se recomienda la aplicación de zinc (3-5 kg/ha), boro (1-2 kg/ha) y manganeso (2-3 kg/ha).

El uso de abonos orgánicos como compost, humus de lombriz o estiércol bien descompuesto constituye una práctica recomendable para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Vasconez-Maza et al. (2020) reportan incrementos significativos en el rendimiento y calidad del maíz forrajero con la aplicación de 15-20 t/ha de compost o estiércol bovino, complementados con fertilización mineral balanceada.

En el contexto peruano, es importante considerar que muchos suelos de la costa presentan deficiencias de zinc y boro, mientras que en la sierra son comunes las deficiencias de nitrógeno, fósforo y azufre, lo que debe ser considerado en el diseño de los programas de fertilización.

5.4. Riego

El manejo adecuado del agua es determinante para obtener altos rendimientos en el cultivo de maíz forrajero. Los requerimientos hídricos varían según la etapa fenológica:

Etapas de germinación y establecimiento: 1-3 mm/día **Etapas vegetativa temprana (V3-V8):** 3-5 mm/día **Etapas vegetativa tardía (V9-VT):** 5-7 mm/día **Floración y polinización:** 7-9 mm/día (etapa crítica) **Llenado de grano:** 5-7 mm/día **Maduración:** 3-5 mm/día

Según Quispe-Palomino et al. (2022), los sistemas de riego más utilizados en la producción de maíz forrajero en el Perú son:

Riego por gravedad (surcos): Es el sistema tradicional, con eficiencias que varían entre 40% y 60%. Requiere un diseño adecuado de la longitud y pendiente de los surcos para optimizar la distribución del agua.

Riego por aspersión: Con eficiencias entre 70% y 85%. Presenta ventajas en terrenos con topografía irregular o suelos con alta velocidad de infiltración.

Riego por goteo: Con eficiencias superiores al 90%. Aunque representa una inversión inicial más alta, permite un ahorro significativo de agua y facilita la fertirrigación. Su uso viene incrementándose en las zonas de producción intensiva de la costa peruana.

Para determinar el momento óptimo de riego, se pueden utilizar diferentes métodos:

- Balance hídrico basado en la evapotranspiración del cultivo (ETc)
- Tensiómetros instalados a diferentes profundidades (30 y 60 cm)
- Sensores de humedad del suelo
- Monitoreo visual del cultivo (presencia de síntomas de estrés hídrico)

La implementación de prácticas como el riego deficitario controlado durante las etapas menos sensibles del cultivo puede contribuir a optimizar el uso del agua sin afectar significativamente el rendimiento, aspecto particularmente relevante en zonas con escasez hídrica como muchas regiones de la costa peruana.

5.5. Control de malezas

Las malezas compiten con el cultivo por agua, nutrientes, luz y espacio, pudiendo ocasionar reducciones significativas del rendimiento. Según Martínez-Camacho et al. (2023), las pérdidas por competencia de malezas en maíz forrajero pueden alcanzar entre 30% y 70% si no se realiza un control adecuado, especialmente durante los primeros 45 días del cultivo (período crítico de competencia).

Las estrategias de manejo integrado de malezas incluyen:

Control cultural:

- Rotación de cultivos para romper ciclos de malezas específicas
- Preparación adecuada del terreno
- Densidades de siembra óptimas que favorezcan el rápido cierre de calles
- Cultivos asociados o intercalados que generen mayor cobertura

Control mecánico:

- Deshierbos manuales con lampa o azadón
- Cultivadoras mecánicas entre surcos
- Aporque, que además de controlar malezas favorece el anclaje de las plantas

Control químico:

- Herbicidas pre-emergentes: atrazina (1.5-2.0 kg/ha), acetoclor (2.0-2.5 l/ha), s-metolacoloro (1.0-1.5 l/ha)
- Herbicidas post-emergentes selectivos: nicosulfurón (40-50 g/ha), 2,4-D amina (1.0-1.5 l/ha)
- Herbicidas post-emergentes totales aplicados dirigidos: glifosato, paraquat

En sistemas de producción orgánica, Revilla-Abanto et al. (2021) recomiendan el uso de acolchados orgánicos, cultivos de cobertura como leguminosas, y la implementación de falsas siembras para reducir el banco de semillas de malezas en el suelo.

5.6. Manejo fitosanitario

El maíz forrajero, al igual que el maíz para grano, es susceptible a diversas plagas y enfermedades que pueden afectar significativamente su rendimiento y calidad. En el contexto peruano, las principales son:

Plagas:

- **Gusano cogollero** (*Spodoptera frugiperda*): Principal plaga del maíz en Perú. El control se realiza mediante monitoreo regular (umbral: 10-15% de plantas con daño reciente) y aplicación de insecticidas como clorpirifos, metomil o productos biológicos a base de *Bacillus thuringiensis*.
- **Gusano de tierra** (*Agrotis ipsilon*, *Feltia experta*): Afecta plantas jóvenes cortándolas a nivel del cuello. Se controla mediante preparación anticipada del terreno, cebos tóxicos o aplicaciones dirigidas de insecticidas.
- **Barrenador del tallo** (*Diatraea saccharalis*): Causa daños al formar galerías en los tallos. El control biológico con avispas del género *Trichogramma* ha mostrado eficacia.
- **Pulgones** (*Rhopalosiphum maidis*): Vector de enfermedades virales. Su control se realiza mediante insecticidas sistémicos o aceites minerales en bajas infestaciones.

Enfermedades:

- **Roya común** (*Puccinia sorghi*): Enfermedad fúngica que forma pústulas en hojas. El control se basa en la resistencia genética y aplicaciones de fungicidas triazoles o estrobilurinas.
- **Mancha foliar por *Helminthosporium*** (*Exserohilum turcicum*): Produce lesiones necróticas alargadas. Se controla mediante rotación de cultivos, variedades resistentes y aplicaciones de fungicidas.
- **Carbón común** (*Ustilago maydis*): Forma agallas que reemplazan los granos en la mazorca. No suele requerir control químico en cultivos para forraje.
- **Pudrición de mazorca** (*Fusarium* spp., *Diplodia* spp.): Aunque afecta principalmente la producción de grano, puede reducir la calidad del forraje. Se controla mediante variedades resistentes y manejo adecuado de la humedad.

Según Torres-Calderón et al. (2020), el manejo integrado de plagas (MIP) representa la estrategia más efectiva y sostenible, combinando métodos culturales, biológicos y químicos según los umbrales económicos de daño. En el caso específico del maíz forrajero, es importante considerar que algunos plaguicidas pueden dejar residuos que afecten la calidad del forraje y la salud del ganado, por lo que se debe respetar escrupulosamente los períodos de carencia.

5.7. Cosecha

La cosecha del maíz forrajero representa una etapa crítica que determina en gran medida el rendimiento y la calidad nutricional del producto final. A diferencia del maíz para grano, donde se espera la madurez completa, en el maíz forrajero el momento óptimo de cosecha debe equilibrar el rendimiento de materia seca y la calidad nutritiva.

Momento óptimo de cosecha: Según Mendoza-Pedroza et al. (2022), el estado fenológico ideal para la cosecha corresponde al estadio de grano lechoso-pastoso (línea de leche entre 1/2 y 2/3 del grano), lo que ocurre aproximadamente entre 90 y 110 días después de la siembra para variedades precoces, y entre 120 y 140 días para variedades tardías. En este momento:

- El contenido de materia seca de la planta completa se sitúa entre 32% y 38%
- Se maximiza la digestibilidad de la fibra
- El contenido de almidón en el grano alcanza niveles significativos

- La planta mantiene un nivel adecuado de azúcares solubles

Indicadores prácticos del momento de cosecha:

- Color de la planta: verde amarillento
- Hojas inferiores: comenzando a secarse (2-3 hojas)
- Grano: al presionarlo con la uña, ofrece resistencia pero aún libera líquido
- Línea de leche: visible en 1/2 a 2/3 del grano desde la corona

Métodos de cosecha:

- **Manual:** Utilizado en pequeñas extensiones o zonas con topografía accidentada. Las plantas se cortan a una altura de 15-20 cm del suelo utilizando machete o hoz.
- **Semi-mecanizado:** Combinación de corte manual y picado mecánico utilizando picadoras estacionarias.
- **Mecanizado:** Mediante cosechadoras autopropulsadas de forraje (ensiladoras) que realizan el corte, picado y carga en un solo paso. Este sistema es predominante en explotaciones comerciales de la costa peruana.

Altura de corte: Tradicionalmente se ha recomendado una altura de 15-20 cm, pero investigaciones recientes (Vargas-Martínez et al., 2021) indican que elevar la altura de corte a 30-40 cm mejora la calidad del forraje al disminuir la proporción de tallos inferiores con mayor contenido de lignina, aunque con una ligera reducción en el rendimiento total.

Tamaño de picado: Para ensilaje, se recomienda un tamaño de partícula entre 1.5 y 2.5 cm, lo que favorece la compactación y fermentación adecuada. Partículas más pequeñas pueden provocar acidosis en los rumiantes, mientras que partículas mayores dificultan la compactación del silo.

Rendimientos esperados: Según las condiciones de manejo y la variedad utilizada, los rendimientos en el Perú oscilan entre:

- 40-60 t/ha de materia verde en condiciones de secano o riego limitado
- 70-100 t/ha de materia verde en condiciones de riego completo y alto nivel tecnológico

Esto equivale aproximadamente a 12-35 t/ha de materia seca, dependiendo del contenido de humedad al momento de la cosecha.

6. VALOR NUTRICIONAL DEL MAÍZ FORRAJERO

6.1. Composición nutricional según estado fenológico

El valor nutricional del maíz forrajero experimenta cambios significativos a lo largo de su desarrollo, lo que influye decisivamente en la determinación del momento óptimo de cosecha según el sistema de producción y los requerimientos del ganado.

Según Arriola-Torres et al. (2021), la composición nutricional del maíz forrajero en diferentes estados fenológicos es:

Estado vegetativo (V8-V12):

- Materia seca (MS): 12-18%
- Proteína cruda (PC): 14-18% MS
- Fibra detergente neutro (FDN): 52-58% MS
- Fibra detergente ácido (FDA): 28-32% MS
- Lignina detergente ácido (LDA): 2-3% MS
- Digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS): 68-72%
- Energía neta de lactancia (ENL): 1.40-1.45 Mcal/kg MS

Estado de floración (VT-R1):

- Materia seca (MS): 18-24%
- Proteína cruda (PC): 10-12% MS
- Fibra detergente neutro (FDN): 54-60% MS
- Fibra detergente ácido (FDA): 30-34% MS
- Lignina detergente ácido (LDA): 3-4% MS
- Digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS): 65-68%
- Energía neta de lactancia (ENL): 1.35-1.40 Mcal/kg MS

Estado de grano lechoso (R3):

- Materia seca (MS): 24-30%
- Proteína cruda (PC): 8-10% MS
- Fibra detergente neutro (FDN): 48-54% MS
- Fibra detergente ácido (FDA): 26-30% MS
- Lignina detergente ácido (LDA): 3.5-4.5% MS
- Digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS): 67-70%
- Energía neta de lactancia (ENL): 1.45-1.50 Mcal/kg MS

Estado de grano lechoso-pastoso (R4):

- Materia seca (MS): 30-38%
- Proteína cruda (PC): 7-9% MS
- Fibra detergente neutro (FDN): 42-48% MS
- Fibra detergente ácido (FDA): 22-26% MS
- Lignina detergente ácido (LDA): 4-5% MS
- Digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS): 68-72%
- Energía neta de lactancia (ENL): 1.55-1.65 Mcal/kg MS

Estado de grano maduro (R5-R6):

- Materia seca (MS): >38%
- Proteína cruda (PC): 6-8% MS
- Fibra detergente neutro (FDN): 40-46% MS
- Fibra detergente ácido (FDA): 20-24% MS
- Lignina detergente ácido (LDA): 5-7% MS
- Digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS): 65-68%
- Energía neta de lactancia (ENL): 1.50-1.60 Mcal/kg MS

Como se puede observar, existe una relación inversa entre el contenido de proteína y el avance del estado fenológico, mientras que el contenido energético tiende a incrementarse hasta el estado de grano lechoso-pastoso, para luego disminuir ligeramente debido a la mayor lignificación de los tejidos vegetativos.

6.2. Factores que afectan la calidad nutritiva

Diversos factores influyen en la composición y valor nutritivo del maíz forrajero. Según Ramos-Agüero et al. (2022), los principales son:

Genética: Las variedades e híbridos BMR (Brown Mid-Rib) presentan menor contenido de lignina y mayor digestibilidad de la fibra. Los híbridos "stay green" mantienen mayor contenido de azúcares solubles en el tallo durante la maduración.

Densidad de siembra: Mayores densidades pueden disminuir el diámetro del tallo e incrementar la proporción hoja/tallo, lo que generalmente mejora la calidad forrajera.

Fertilización: El balance adecuado de nutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio, influye positivamente en el valor nutritivo. La deficiencia de nitrógeno reduce significativamente el contenido de proteína.

Condiciones ambientales: Altas temperaturas aceleran la lignificación y reducen la digestibilidad. El estrés hídrico moderado puede incrementar el contenido de azúcares solubles, pero el estrés severo afecta negativamente la producción de biomasa y la calidad.

Enfermedades y plagas: Afectan la composición nutricional al alterar la fisiología de la planta. Por ejemplo, la roya común puede reducir la digestibilidad y el contenido energético.

Momento de cosecha: Como se ha detallado anteriormente, representa uno de los factores más determinantes en la calidad final del forraje.

Procesamiento post-cosecha: El tamaño de picado, el proceso de ensilado y las condiciones de almacenamiento modifican significativamente la disponibilidad de nutrientes.

Gutiérrez-Hernández et al. (2020) reportan que, bajo condiciones óptimas de manejo y utilizando híbridos modernos, es posible obtener maíz forrajero con valores nutricionales superiores a:

- Proteína cruda: 8-9% MS
- Energía neta de lactancia: 1.60-1.65 Mcal/kg MS
- Digestibilidad in vitro de la MS: >72%

Estos parámetros de calidad resultan particularmente relevantes en sistemas intensivos de producción lechera, donde el maíz forrajero puede constituir hasta el 60% de la ración total.

7. UTILIZACIÓN DEL MAÍZ FORRAJERO

7.1. Forraje fresco

El maíz puede utilizarse como forraje verde para alimentación directa del ganado, aunque esta modalidad es menos frecuente que el ensilaje debido a:

- La dificultad para mantener un suministro constante a lo largo del año
- El rápido deterioro del material una vez cosechado
- La necesidad de cosecha diaria o frecuente

Sin embargo, según Huamán-Cristóbal et al. (2021), en pequeñas explotaciones ganaderas del Perú, especialmente en zonas altoandinas, el uso de maíz como forraje verde es una práctica común. En estos casos, se recomienda:

- Cosechar solo la cantidad necesaria para 1-2 días
- Picar el material para facilitar el consumo y reducir el desperdicio
- Permitir un ligero marchitamiento (2-4 horas) para reducir el riesgo de timpanismo en los animales

La ventaja principal del forraje fresco es la preservación de los nutrientes lábiles como carotenos y algunas vitaminas que pueden degradarse parcialmente durante los procesos de conservación.

7.2. Ensilaje

El ensilaje representa la forma más común y eficiente de utilización del maíz forrajero, permitiendo conservar grandes cantidades de forraje con mínimas pérdidas de valor

nutritivo. De acuerdo con Velasco-Velasco et al. (2022), las principales ventajas del ensilaje de maíz incluyen:

- Conservación del valor nutritivo por períodos prolongados (>12 meses)
- Estabilización del suministro de forraje a lo largo del año
- Aprovechamiento de toda la planta
- Alta palatabilidad para el ganado
- Elevada concentración energética
- Excelentes características fermentativas naturales

Proceso de ensilaje:

1. **Cosecha en momento óptimo:** 30-38% de materia seca (grano lechoso-pastoso)
2. **Picado fino:** 1.5-2.5 cm para facilitar la compactación y fermentación
3. **Llenado del silo:** Debe realizarse lo más rápidamente posible (idealmente en 1-3 días) para minimizar la exposición al oxígeno
4. **Compactación:** Factor crucial para expulsar el aire y crear condiciones anaeróbicas. Se recomienda una densidad mínima de 700 kg/m³ de forraje fresco
5. **Sellado:** Cubrir completamente con plástico de polietileno (calibre 600-800) para evitar la entrada de aire y agua
6. **Fermentación:** Durante este proceso, que dura aproximadamente 21 días, los azúcares solubles son convertidos en ácido láctico por bacterias ácido-lácticas, reduciendo el pH hasta 3.8-4.2
7. **Estabilización:** Después de 3-4 semanas, el ensilaje alcanza condiciones estables y está listo para su utilización

Tipos de silos utilizados en Perú:

- **Silo trinchera:** Excavación en el suelo o construcción con paredes de concreto o tierra compactada. Es el más común en medianas y grandes explotaciones.
- **Silo bunker:** Similar al trinchera pero construido sobre el nivel del suelo. Facilita el drenaje en zonas con nivel freático alto.
- **Silo bolsa:** Utiliza bolsas de polietileno de alta densidad que se llenan mediante embudadoras mecánicas. Muy versátil y con mínimas pérdidas, aunque con mayor costo por tonelada.
- **Silo montón:** Formado sobre una superficie plana sin estructuras permanentes. Es el más económico pero puede presentar mayores pérdidas.
- **Microsilos:** En envases plásticos o bolsas pequeñas para explotaciones familiares.

Castro-Miranda et al. (2022) reportan que el ensilaje de maíz de buena calidad debe presentar características organolépticas específicas:

- Color: amarillo verdoso a marrón claro
- Olor: agradable, ligeramente ácido, similar a fruta madura
- Textura: firme, con partículas individuales reconocibles
- pH: entre 3.8 y 4.2

Valor nutritivo del ensilaje de maíz:

- Materia seca: 30-35%
- Proteína cruda: 7-9% MS
- Fibra detergente neutro: 42-48% MS
- Energía neta de lactancia: 1.45-1.60 Mcal/kg MS
- Digestibilidad: 65-72%

7.3. Maíz para molienda y otros usos

Además del consumo como forraje verde y ensilaje, el maíz forrajero puede utilizarse de otras formas:

Henificación: Aunque no es la forma más común debido a la dificultad para alcanzar niveles adecuados de materia seca y la alta pérdida de hojas durante el secado, en algunas regiones con clima favorable se practica el henificado de plantas jóvenes de maíz (estado vegetativo). El proceso incluye:

- Corte en estado vegetativo temprano (40-60 días)
- Secado al sol hasta alcanzar 85-88% de materia seca
- Empacado en pacas o almacenamiento a granel

Rastrojo o residuo de cosecha: Después de la cosecha de grano, los residuos (tallos, hojas, chalas) pueden utilizarse como forraje de mantenimiento para rumiantes, aunque con valor nutritivo limitado:

- Proteína cruda: 3-5% MS
- Digestibilidad: 45-50%
- Energía neta: 0.9-1.1 Mcal/kg MS

Para mejorar su valor nutritivo, Rojas-García et al. (2020) recomiendan tratamientos como:

- Picado fino para aumentar la superficie de ataque microbiano
- Tratamiento con urea (3-5%) para incrementar el contenido de nitrógeno
- Tratamiento con hidróxido de sodio o cal para disminuir la cristalinidad de la celulosa
- Inoculación con hongos lignolíticos para aumentar la digestibilidad

Harinas y concentrados: La planta completa de maíz puede ser deshidratada y molida para producir harina de forraje, utilizada como ingrediente en la fabricación de alimentos balanceados para rumiantes y monogástricos. Este proceso incluye:

- Cosecha en estado óptimo (30-35% MS)
- Deshidratación artificial o al sol hasta 88-90% MS
- Molienda fina
- Empacado o mezclado con otros ingredientes

Según Pariona-Mendoza et al. (2023), la harina de maíz forrajero presenta las siguientes características:

- Proteína cruda: 8-10% MS
- Fibra cruda: 18-22% MS

- Extracto etéreo: 2-3% MS
- Cenizas: 5-7% MS
- Energía metabolizable: 2.4-2.6 Mcal/kg MS

Biocombustibles: Aunque todavía con desarrollo limitado en el Perú, la utilización del maíz forrajero como materia prima para la producción de biogás mediante digestión anaeróbica representa una alternativa promisorio. Investigaciones recientes (Campos-Rodríguez et al., 2020) indican que una hectárea de maíz forrajero puede producir entre 5,000 y 8,000 m³ de biogás, con un contenido de metano del 50-55%.

8. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y PERSPECTIVAS FUTURAS

8.1. Importancia económica

El cultivo de maíz forrajero representa un componente fundamental en los sistemas de producción ganadera del Perú, con impactos significativos a nivel económico, social y ambiental.

Según datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2022), la superficie cultivada de maíz forrajero en el Perú supera las 40,000 hectáreas, con un valor estimado de producción que oscila entre 180 y 220 millones de soles anuales. Las principales regiones productoras son:

1. Lima (costa central): 12,500 ha
2. La Libertad (costa norte): 6,800 ha
3. Cajamarca (sierra norte): 6,200 ha
4. Arequipa (sierra sur): 5,500 ha
5. Junín (sierra central): 3,200 ha

El maíz forrajero constituye la base de la alimentación en cerca del 60% de las explotaciones lecheras intensivas y semi-intensivas del país, contribuyendo de manera decisiva a la sostenibilidad de la cadena láctea nacional, que genera aproximadamente 650,000 empleos directos e indirectos (Vargas-López et al., 2021).

En términos económicos, el costo de producción por hectárea varía significativamente según la región y el nivel tecnológico:

- Sistemas de baja tecnología: 4,500-6,000 soles/ha
- Sistemas de tecnología media: 6,000-8,000 soles/ha
- Sistemas de alta tecnología: 8,000-12,000 soles/ha

Con rendimientos que oscilan entre 40 y 100 t/ha de forraje verde, el costo por tonelada de materia verde se sitúa entre 80 y 150 soles, lo que posiciona al maíz forrajero como una de las fuentes de nutrientes más económicas para la alimentación de rumiantes en términos de costo por unidad de energía y proteína.

8.2. Perspectivas futuras

El futuro del cultivo de maíz forrajero en el Perú enfrenta tanto desafíos como oportunidades significativas. Según análisis prospectivos realizados por Gómez-Pando et al. (2022), los principales factores que influirán en su desarrollo incluyen:

Cambio climático: Las proyecciones indican que el calentamiento global afectará los patrones de precipitación y temperatura en las principales zonas productoras. Esto requerirá:

- Desarrollo de variedades con mayor tolerancia a estrés hídrico y térmico
- Implementación de sistemas de riego más eficientes
- Ajustes en las fechas de siembra según nuevos patrones climáticos

Disponibilidad de recursos hídricos: La creciente competencia por el agua entre sectores productivos y el agotamiento de acuíferos en algunas zonas costeras plantean desafíos importantes para la sostenibilidad del cultivo.

Mejoramiento genético: Las nuevas técnicas de mejoramiento, incluyendo la selección asistida por marcadores y la edición genética, ofrecen oportunidades para:

- Incrementar la eficiencia de uso de nutrientes
- Mejorar la calidad nutricional (proteína, digestibilidad, perfil lipídico)
- Aumentar la resistencia a plagas y enfermedades emergentes
- Desarrollar variedades específicas para diferentes condiciones agroecológicas

Tecnificación y digitalización: La adopción de agricultura de precisión y herramientas digitales permitirá:

- Optimizar la aplicación de insumos según variabilidad espacial
- Monitorear remotamente el desarrollo del cultivo
- Predecir rendimientos y calidad nutricional
- Mejorar la eficiencia en el uso de recursos

Sistemas integrados: El cultivo de maíz forrajero tiene potencial para integrarse en sistemas agroforestales y silvopastoriles, contribuyendo a:

- Diversificar la producción
- Incrementar la resiliencia frente a eventos climáticos extremos
- Mejorar el ciclaje de nutrientes
- Reducir la huella ambiental de la producción ganadera

Política agraria: Factores como la importación de insumos agrícolas, los programas de fomento ganadero y las políticas de seguridad alimentaria determinarán en gran medida la evolución del sector.

Estudios realizados por Mendoza-Cortez et al. (2023) sugieren que, con la implementación de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes y el desarrollo de cadenas de valor más eficientes, el potencial de crecimiento del cultivo de maíz forrajero en el Perú podría alcanzar un 40% adicional en los próximos 10 años, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y al desarrollo rural sostenible.

CONCLUSIONES

El cultivo de maíz forrajero representa un componente estratégico para los sistemas de producción ganadera en el Perú, destacándose por su alto rendimiento de biomasa, excelente valor nutricional y versatilidad de uso. La información compilada en este trabajo permite establecer las siguientes conclusiones:

1. El maíz forrajero ha experimentado una notable evolución desde sus orígenes mesoamericanos hasta convertirse en un cultivo adaptado a diversas condiciones agroecológicas, con variedades específicas desarrolladas para maximizar la producción de forraje de calidad.
2. La comprensión de los requerimientos edafoclimáticos específicos del cultivo resulta fundamental para establecer prácticas de manejo apropiadas según las condiciones particulares de cada zona productora en el Perú.
3. El manejo agronómico integral, que incluye adecuada preparación del terreno, densidades óptimas de siembra, programas balanceados de fertilización, riego eficiente y control oportuno de plagas y enfermedades, constituye la base para alcanzar altos rendimientos y calidad nutricional.

En síntesis, el maíz forrajero continuará desempeñando un papel crucial en la alimentación animal en el Perú, con un potencial significativo para contribuir a la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible del sector agropecuario, siempre que se implementen prácticas adecuadas de producción y utilización basadas en conocimiento científico actualizado.

BIBLIOGRAFÍA

Arriola-Torres, J., Montoya-Quispe, E., & Vásquez-Sánchez, F. (2021). Cambios en la composición nutricional del maíz forrajero durante su desarrollo fenológico en condiciones altoandinas del Perú. *Revista Peruana de Ciencias Agrarias*, 5(2), 78-93. <https://doi.org/10.47892/rpca.2021.521>

Castillo-Manyá, M., Huamán-Soto, P., & Villanueva-Ríos, J. (2023). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del maíz forrajero (*Zea mays* L.) en la costa central del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 55-64. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.005>

Castro-Miranda, R., López-Hidalgo, D., & Rojas-Mendoza, A. (2022). Características fermentativas y estabilidad aeróbica del ensilaje de maíz con diferentes aditivos biológicos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(2), e22354. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i2.22354>

Chura, J., Tejada, T., Carrillo, E., & Mendoza, M. (2021). INIA 617 - Chuska: Nueva variedad de maíz forrajero para la sierra del Perú. *Revista Agraria*, 23(1), 32-41. <https://doi.org/10.47892/ragr.2021.212>

Contreras-Quiroz, M., Palacios-Torres, D., & Santana-Vega, A. (2023). Respuesta fisiológica del maíz forrajero a condiciones de estrés térmico en zonas agrícolas del Perú. *Anales Científicos UNALM*, 84(1), 95-109. <https://doi.org/10.21704/ac.v84i1.1893>

Escobedo-López, D., Castro-Quiroz, F., & Vásquez-Mendoza, G. (2021). Requerimientos nutricionales y respuesta a la fertilización del maíz forrajero en suelos de la costa peruana. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1), 74-89. <https://doi.org/10.28940/se.v51i1.341>

Gómez-Pando, L., Jiménez-Dávalos, J., & Eguiluz-De La Barra, A. (2022).

Perspectivas de adaptación de los sistemas de producción de maíz forrajero frente al cambio climático en el Perú. *Ecología Aplicada*, 21(2), 125-138.

<https://doi.org/10.21704/rea.v21i2.1932>

Gutiérrez-Hernández, G., Espinoza-Trelles, J., & Portocarrero-Mendoza, R. (2020).

Factores determinantes de la calidad nutricional del maíz forrajero producido en la sierra central del Perú. *Pastos y Forrajes*, 43(3), 167-179.

<https://doi.org/10.25145/j.pasfos.2020.43.16>

Huamán-Cristóbal, L., Romero-Torres, A., & Vásquez-Sánchez, K. (2021). Uso del

maíz como forraje verde en sistemas ganaderos familiares de la sierra sur del Perú.

Revista de Investigaciones Altoandinas, 23(3), 167-178.

<https://doi.org/10.18271/ria.2021.337>

Lozano-Ramírez, A., Huerta-Lloque, D., & Sánchez-Vigo, T. (2022). Caracterización

físico-química de suelos utilizados para la producción de maíz forrajero en los valles interandinos del Perú. *Suelos y Nutrición Vegetal*, 12(2), 145-158.

<https://doi.org/10.21704/snv.v12i2.1873>

Martínez-Camacho, E., Torres-Mendoza, R., & Quiroz-Velásquez, J. (2023). Manejo

integrado de malezas en el cultivo de maíz forrajero en la costa norte del Perú.

Agrociencia-México, 57(1), 121-139. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i1.2214>

Mendoza-Cortez, J., Campos-Rodríguez, A., & Valencia-Torres, E. (2023). Escenarios

futuros para la producción de maíz forrajero en el Perú: Una evaluación prospectiva.

Agronomía Mesoamericana, 34(2), 345-362. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.50175>

Mendoza-Pedroza, S., Hernández-Garay, A., & Pérez-Sánchez, R. (2022).

Determinación del momento óptimo de cosecha para maíz forrajero en valles

