

Comparación del rendimiento de forraje verde hidropónico con maíz lluteño y maíz comercial, utilizando cuatro calidades de agua. Arica, Chile

Comparison of the performance of hydroponic green forage with lluteño corn and commercial corn, using four qualities of water. Arica, Chile

Juan Francisco Trevizan Rispoli¹, Gloria Angélica Challapa Moscoso¹

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento de las variedades de maíz lluteño (variedad local) y un maíz comercial para producir forraje verde hidropónico (FVH), utilizando agua para el riego de distintas concentraciones de salinidad, extraídas de los sectores bajo, medio y alto del valle de Lluta y de un tramo del valle de Azapa, con conductividades eléctricas de 3,16; 2,82; 1,96 y 0,80 mS/cm respectivamente. Además se buscó determinar la cantidad de agua utilizada por la unidad de forraje producido (kg de MS por m³ de agua), con la finalidad de evaluar el uso eficiente de este recurso en la producción de forraje verde hidropónico, así como el efecto de las sales en el rendimiento final. Los resultados indican que el factor tipo de maíz actuó en forma independiente respecto del factor tipo de agua. De esta manera, el forraje verde hidropónico de maíz lluteño obtuvo mejores resultados en cuanto a rendimiento y calidad nutricional en comparación con el FVH de maíz comercial. No fue así en el parámetro de energía metabolizable (EM), donde el maíz comercial fue levemente superior al maíz local. La salinidad afectó solo los parámetros de rendimiento, donde los tratamientos regados con agua de CE entre 0,8 y 2,82 mS/cm tuvieron similitud entre sus promedios. Por el contrario, el FVH regado con CE de 3,16 mS/cm presentó diferencias significativas respecto del resto.

El consumo del recurso agua fue de 24 a 90,5 kg de MS por m³. El T5 (maíz lluteño, con agua CE 2,82 mS/cm) alcanzó los mayores promedios en los siguientes parámetros evaluados: altura de planta (25,8 cm); porcentaje de materia seca (18,2%); materia seca por kilogramo por metro cuadrado (6,4); proteína cruda (15,38%); y uso eficiente del agua (90,5 kg/m³).

Palabras clave: forraje, maíz lluteño, calidad de agua, uso eficiente de agua, salinidad.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the performance of the varieties of Lluteño maize (local variety) and a commercial corn to produce hydroponic fodder system (HFS), using water to irrigate different concentrations of salinity, extracted from the low, middle sectors and height of the Lluta valley and a section of the Azapa valley, with electrical conductivities of 3.16, 2.82, 1.96 and 0.80 mS/cm respectively, in addition, determine the amount of water used by the unit of forage produced (kg of MS per m³ of water), in order to evaluate the efficient use of this resource in the production of green hydroponic forage, as well as, the effect of the salts on the final yield. The results indicate that the maize type factor acted independently of the water type factor, thus, Lluteño hydroponic green forage obtained better results in terms of yield and nutritional quality compared to commercial corn HFS, Not so in the parameter of metabolizable energy (ME) where commercial corn was slightly higher than local corn. The salinity affected only the performance parameters, where the treatments irrigated with water with EC between 0.8 and 2.82 mS/cm had similarity between their averages, on the contrary, the HFS irrigated with EC of 3.16 mS/cm presented significant differences with respect to the rest.

The water resource consumption was between 24 and 90.5 kg of DM per m³. The T5 reached the highest averages in the following parameters evaluated: plant height (25.8 cm); percentage of dry matter (18.2); dry matter per kilogram per square meter (6.4); Crude protein (15.38%); Efficient use of water (90.5 kg/m³).

Keywords: forage, lluteño corn, water quality, efficient use of water, salinity.

¹ Universidad de Tarapacá. Arica, Chile

* Autor por correspondencia: jftrevizan@gmail.com

Introducción y revisión bibliográfica

La producción pecuaria en la zona del extremo norte de Chile se encuentra determinada por un conjunto de factores que restringen sus posibilidades de desarrollo e impiden que se transforme en una actividad competitiva y sustentable.

Según el Censo Nacional Agropecuario y Forestal del año 2007, en la región de Arica y Parinacota y la región de Tarapacá la producción forrajera corresponde a 1723 ha y existen 116.024 cabezas de ganado en total, donde dominan las explotaciones de camélidos, ovinos, caprinos y bovinos. (Tapia, 2009).

El forraje hidropónico es una alternativa válida en sectores que sufren de escasez de agua para riego (Valverde, 2017) y el FVH es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH o “green fodder hydroponics” es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal (FAO 2001, Rivera *et al.*, 2010).

Una de las plantas más utilizadas con fines forrajeros es el maíz (*Zea mays*), principalmente por su alto valor nutritivo y bajo contenido de ácidos prúsico y cianhídrico. Esto último permite su consumo en estados anteriores al de la floración. Por ello es una de las especies preferidas por los productores de FVH.

El valle de Lluta posee buenas condiciones de luz y temperatura. Sin embargo, los altos contenidos de sales y boro presentes tanto en el suelo como en el agua limitan la diversidad de especies cultivables en la zona. Pese a esto, es posible encontrar ecotipos adaptados a este ambiente de estrés, como el maíz lluteño (Bastías *et al.*, 2011), un maíz dulce de tipo amiláceo, surgido de la selección natural y que representa casi el 60% de la producción del valle.

El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de forraje verde hidropónico, utilizando semillas de maíz lluteño y maíz comercial, regados con diferentes calidades de agua representativas del valle de Lluta y el valle de Azapa en el norte de Chile. Los objetivos específicos fueron: a) Comparar el potencial productivo de los dos genotipos de maíz en cultivo de forraje verde hidropónico; b) Evaluar la composición bromatológica del FVH de maíz en cultivo de forraje verde hidropónico; c) Evaluar el efecto de las sales en el rendimiento

y calidad nutritiva del forraje verde hidropónico; y d) Determinar la cantidad de agua utilizada por kilo de materia seca producida en el forraje verde hidropónico.

Entre los parámetros más comúnmente utilizados para caracterizar los alimentos destacan la materia seca, la proteína, la fibra y la energía (Cofre y Jahn, 2003).

La producción de FVH es una tecnología de desarrollo de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de plántulas en los estados de germinación y crecimiento temprano, a partir de semillas con una alta tasa de germinación para producir un forraje vivo de alta digestibilidad, calidad nutricional y apto para la alimentación de animales (López *et al.*, 2009).

En la práctica, el FVH se obtiene a partir del crecimiento inicial de semillas de cereales en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas, a partir de semillas viables y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) y en ausencia del suelo, para lo cual usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (Villavicencio, 2014).

La producción de FVH presenta grandes alternativas para la producción animal, debido al gran rendimiento de materia verde o seca durante todo el año, calidad y cantidad de proteína producida en pequeñas áreas, sin necesidad de suelo, maquinaria agrícola y pequeñas cantidades de agua (Sánchez *et al.*, 2010).

Con el forraje hidropónico se puede alimentar ganado vacuno, porcino, caprino, equino, cunícola y una gran cantidad de animales domésticos con excelentes resultados (Vargas, 2008).

Los factores que intervienen en la producción de FVH son: calidad de la semilla (Villavicencio, 2014; FAO, 2002); iluminación (Meza, 2005; Villavicencio 2014); temperatura (Guerrero, 1992); humedad ambiental (Gutiérrez *et al.*, 2000); calidad del agua de riego (Gil, 2009); oxígeno (Villavicencio, 2014; FAO, 2002; Guerrero, 1992); y conductividad eléctrica (Ramos, 1999).

Maíz lluteño

El maíz lluteño (*Zea mays* L. cv. Lluteño) es una variedad de maíz dulce, el cual ha surgido entre otros cultivos locales en el valle de Lluta, Chile, como consecuencia de las prácticas de selección

natural de semillas, desde que se comenzó a utilizar el riego en la región, antes de la llegada de los españoles en el siglo XVI (Ferreira *et al.*, 1997).

Investigaciones recientes en maíz lluteño realizadas por Bastías *et al.* (2011) indican que las condiciones de alta salinidad y exceso de boro no afectan los parámetros de altura de planta y producción de biomasa expresada en el contenido de materia seca en las plantas, por estructuras, raíz, tallo y hojas. Se observa incluso un notorio incremento en la materia seca. Además, en este mismo estudio se midieron otros factores como contenido relativo del agua (CRA), clorofila y contenido de azúcares solubles totales, los cuales se encontraron en el rango de óptimo.

En la actualidad la salinidad de los suelos y del agua de riego determina que sólo unos pocos cultivos puedan desarrollarse en Lluta. Algunos de ellos son el maíz (*Zea mays*) (amiláceo) local denominado lluteño, algunas variedades de cebollas (*Allium cepa* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L) y algunas hortalizas menores. Sin embargo, por las bondades del clima estos cultivos se pueden desarrollar en cualquier época del año (Torres y Acevedo, 2008).

Efecto de la salinidad y el boro en el maíz

Dentro de la clasificación del maíz, según su tolerancia a la salinidad, este es un cultivo sensible, y resulta severamente afectado incluso a bajas concentraciones de sal (Bastías *et al.*, 2011). El umbral para la reducción del crecimiento se estima en cerca de 1,7 mS cm⁻¹, con una pérdida de 10% del rendimiento.

En el maíz, los síntomas de estrés salino incluyen una disminución del índice de crecimiento de la planta, de la elongación de la hoja y del contenido hídrico. Además, se altera la absorción de sustancias nutritivas por las raíces y varios procesos de transporte (Avello y Suwalsky, 2006). Otros autores indican que el estrés salino en maíz puede provocar importantes cambios como la disminución de la longitud del brote, del peso fresco y seco y del área foliar, aumento de prolina, sodio y de la relación Na⁺/K⁺ (Cicek y Cakirlar, 2002).

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Tarapacá,

ubicado en el km 12 del valle de Azapa (18°31'15''S 70°10'42''O) a 250 msnm en la XV Región de Arica y Parinacota, Chile, en una superficie de 252 m², en un invernadero de policarbonato.

El clima de esta zona es desértico normal con abundantes nublados retenidos por el biombo cordillerano costero, moderado por la influencia oceánica, la cual penetra a través de los valles de Azapa y Lluta. El clima promedio del valle de Azapa presenta temperaturas mensuales máximas de 25 °C y mínimas de 14 °C, con una moderada oscilación térmica durante el año. La humedad relativa es homogénea, de 60% a 80% (Sepúlveda *et al.*, 2013).

En el interior del invernadero se instalaron 2 anaqueles con una capacidad total de 96 bandejas de aluminio (medida en base: 34 x 49 cm y una altura de 8 cm).

Caracterización del agua utilizada

Las fuentes de agua para el riego del ensayo fueron aquellas representativas de los valles de Azapa y Lluta. El agua de Azapa fue extraída desde el estanque acumulador de agua del canal Lauca, ubicado en la parcela 27 (Universidad de Tarapacá, km 12), desde donde se trasladó en un contenedor plástico de 1000 litros. De la misma forma, el agua de Lluta fue traída desde tres sectores del valle, de acuerdo a la **Tabla 1**.

El riego consistió en cuatro sistemas independientes, conformado cada uno por un estanque de almacenamiento de 1000 l.

Tanto las bandejas como los contenedores plásticos y todos los materiales utilizados fueron lavados previamente con Biocid (dosis 1:110). Luego las semillas separadas por tratamiento fueron colocadas dentro de los contenedores y sumergidas completamente en una solución de agua y Biocid a una concentración de 1 cc por 110 l de agua por 30 minutos. Esto con el fin de eliminar microorganismos patógenos como hongos y bacterias. Posteriormente se drenó el agua y se realizó un enjuague rápido de las semillas con agua limpia.

En esta etapa las semillas separadas por tratamiento fueron colocadas dentro de contenedores plásticos a los cuales se les agregó agua correspondiente al tratamiento, y las semillas quedaron completamente sumergidas por un periodo de 24 horas. Transcurridas las primeras 12 horas de esta etapa se procedió a drenar el agua, se sacaron las semillas y se orearon

Tabla 1. Análisis de salinidad a los diferentes tipos de agua.

Parámetro	Unidad	Forma	Sector 1 Azapa Km 12	Sector 2 Lluta Alto	Sector 3 Lluta Medio	Sector 4 Lluta bajo
Ce	mS/cm		0,80	1,96	2,82	3,16
pH			7,96	7,67	6,34	7,24
Calcio	mg/L	Ca ²⁺	62,00	128,00	192,00	208,00
Magnesio	mg/L	Mg ²⁺	24,15	29,18	68,09	116,74
Potasio	mg/L	K ⁺	7,16	14,26	17,56	18,15
Sodio	mg/L	Na ⁺	64,00	260,70	307,06	265,29
Cloruros	mg/L	Cl ⁻	68,16	391,92	545,48	596,40
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	168,00	314,88	520,69	586,00
Nitratos	mg/L	NO ₃ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonatos	mg/L	HCO ₃ ⁻	183,00	122,00	122,00	122,00
Fosfatos	mg/L	H ₂ PO ₄ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,00
Boro	mg/L	-	1,30	12,67	15,41	16,60

durante una hora. Luego se sumergieron de nuevo las semillas por 12 horas para finalmente realizar un último oreado.

Una vez realizada la pregerminación se procedió a la distribución de las semillas en cada bandeja, con una dosis de siembra de 800 g por bandeja. Esto de acuerdo a los ensayos hechos previamente, donde una menor dosis implicaba espacios vacíos dentro de la bandeja.

Esta etapa también conocida como fase oscura, se llevó a cabo en el laboratorio, donde se colocaron las bandejas apiladas en forma vertical, agrupadas por tipo de agua. Luego fueron cubiertas con un plástico de polietileno negro por un periodo de 48 horas. El riego se realizó en forma manual con un pulverizador 0,25 l por bandeja 3 veces al día.

Al cuarto día del experimento las bandejas fueron trasladadas al invernadero y colocadas en los anaqueles de siembra.

La cosecha se realizó el día 14 después del lavado y desinfección de las semillas, para lo cual el riego fue cortado un día antes (11 días).

Tratamientos

Las variables evaluadas correspondieron a altura de planta (cm); peso fresco (g); materia seca (% y kg/m²); proteína total (%) (Kjeldahl); energía metabolizable (análisis de Van Soest.); cenizas (%); y uso eficiente del agua que se determinó con la siguiente fórmula:

$$\text{UEA (kg MS/m}^3\text{)} = \frac{\text{rendimiento de MS de FVH (kg)}}{\text{Cantidad de agua utilizada (m}^3\text{)}}$$

Diseño experimental y análisis estadístico:

El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, utilizando un arreglo factorial de 2 x 2 (tipo de maíz y calidad de agua), con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : ijk - ésima observación de la variable dependiente.

μ : Media verdadera general.

T_i : Efecto de la i -ésima variedad.

β_j : Efecto de la j -ésima tipo de agua.

$(T\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción de la i -ésima variedad y la j -ésima tipo de agua.

ϵ_{ijk} : Error experimental de la ijk -ésima observación.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa SPSS (Statistical package for the Social Sciences) Versión 2017.

Resultados y discusión

Los tratamientos se muestran en la [Tabla 2](#).

Altura de plantas

El análisis de varianza de altura de plantas nos demuestra que con un nivel de confianza del 95% existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, y su coeficiente de variabilidad de un 17,7% es aceptable para las condiciones del

Tabla 2. Tratamientos de forraje verde hidropónico.

Tratamiento	Descripción
T1:	Maíz lluteño, regado con agua CE 0,80 mS/cm (Sector 1).
T2:	Maíz comercial, regado con agua CE 0,80 mS/cm (Sector 1).
T3:	Maíz lluteño, regado con agua CE 1,96 mS/cm (Sector 2).
T4:	Maíz comercial, regado con agua CE 1,96 mS/cm (Sector 2).
T5:	Maíz lluteño, regado con agua CE 2,82 mS/cm (Sector 3).
T6:	Maíz comercial, regado con agua CE 2,82 mS/cm (Sector 3).
T7:	Maíz lluteño, regado con agua CE 3,16 mS/cm (Sector 4).
T8:	Maíz comercial, regado con agua CE 3,16 mS/cm (Sector 4).

experimento. El forraje verde hidropónico de maíz lluteño obtuvo mejores resultados que el FVH de maíz comercial en todos los niveles de conductividad eléctrica (CE). El maíz lluteño alcanzó el mejor desarrollo en plantas regadas con una CE de 2,82 mS/cm con un promedio de 25,8 cm, y la menor altura promedio (14,4) fue registrada por el tratamiento regado con una CE de 3,16 mS/cm. Por otro lado, en el FVH de maíz comercial la máxima altura promedio (17,15 cm) correspondió a las plantas regadas con agua con CE 0,8 ms/cm y el menor crecimiento se observó en el forraje tratado con nivel 3,16 mS/cm de CE, alcanzando solo 6,5 cm de altura (Figura 1).

La altura lograda por el T6 del maíz lluteño coincide con lo reportado por Cuesta y Machado (2009), quienes señalaron que a los 12 días de cosecha obtuvieron 25 cm en plántulas de maíz criollo en condiciones normales. Asimismo, Chang (2000) indicó que el proceso de germinación de los granos se realiza durante un periodo de 9-15 días, donde se pretende que el grano germinado alcance una altura promedio de 25 centímetros. La prueba de significancia de Tukey mostró que los tratamientos regados con agua con conductividades entre 0,80 y 2,82 mS/cm son estadísticamente similares en

sus promedios, no así las plantas regadas con CE de 3,16 mS/cm, las cuales mostraron una menor altura (10,45 cm). Se puede inferir que en este rango se ve afectado el crecimiento y desarrollo de las plántulas de FVH, porque según Laynez *et al.* (2008), la salinidad puede inhibir el crecimiento de las plántulas debido a varios factores, incluyendo la toxicidad iónica, deficiencia en la nutrición mineral y cambios en las relaciones hídricas, los cuales tienen un efecto similar al de la sequía.

Materia seca (kg/m²)

Para el parámetro kg de materia seca por metro cuadrado, el análisis de varianza no muestra que con un nivel de confianza del 95% existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Además, los datos evaluados presentan un coeficiente de variabilidad de 20,43% aceptable para las condiciones del experimento. Asimismo, los resultados nos indican que existen diferencias altamente significativas para los factores tipo de maíz y tipo de agua. Sin embargo, el P valor de la interacción entre ambos factores no presenta significancia, lo que evidencia que estos actuaron en forma independiente. Estadísticamente,

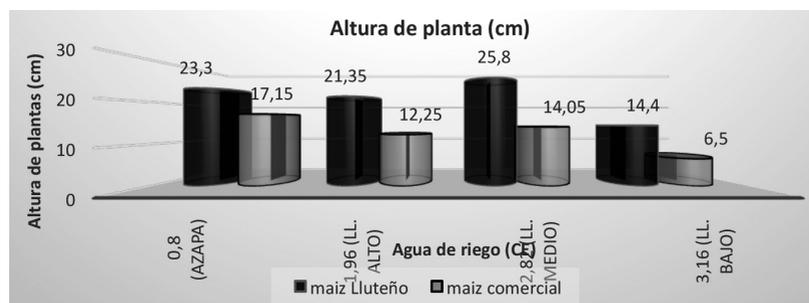


Figura 1. Altura de planta para FVH de variedades de maíz lluteño y comercial, regados con agua de distintas conductividades eléctricas.

no existieron diferencias entre los tratamientos regados con conductividades 0,8; 1,96 y 2,82 mS/cm, pero sí hubo una diferencia significativa con los tratamientos regados con CE de 3,16 mS/cm correspondiente al agua del sector bajo del valle de Lluta. Esto fundamentado en el factor anterior % de MS, donde la salinidad y el contenido de boro también parecen ser una limitante en el rendimiento (Figura 2).

Porcentaje de proteína cruda

El análisis de varianza para el contenido de proteína cruda nos indica que, con un nivel de confianza del 95% existen diferencias significativas entre los tratamientos y su coeficiente de variabilidad es de un 22,50%. La tabla nos muestra que solo existen diferencias altamente significativas para el tipo de maíz, porque el P valor es menor al nivel de significancia (0,05). Sin embargo, tanto para el tipo de agua como para la interacción de ambos factores no existen diferencias significativas (Figura 3).

Los resultados expuestos en el gráfico indican una clara diferencia de contenido de proteína cruda entre los tipos de maíz, y la variedad de maíz lluteño es la que contiene mayor % de PC, alcanzando un

máximo de 15,38% para el tratamiento regado con agua con CE 2,82 del sector medio de Lluta. Por otro lado, la variedad de maíz comercial no presenta grandes diferencias entre los tratamientos, sin embargo, se puede observar que el tratamiento regado con agua del sector alto de Lluta fue el que obtuvo el menor % de PC (10,46). El factor calidad de agua estadísticamente no tuvo significancia.

El contenido de proteína cruda en el forraje, así como en los demás ingredientes de la dieta, es importante para que los animales puedan tener un desarrollo adecuado (Köster *et al.*, 2002.), ya que las proteínas son los constituyentes principales del cuerpo animal. Soto y Ramírez (2018) indican que el objetivo mínimo que se debe considerar es mantener los pastos con más del 7% de proteína, para no afectar el consumo de materia seca de los animales y no alterar con ello la fermentación de ese forraje dentro del rumen. Por lo tanto, los resultados obtenidos cumplen con los requerimientos mínimos de contenido de proteína recomendables para alimentación animal.

Los resultados de este experimento coinciden con los obtenidos por López *et al.* (2009), quienes reportaron valores de PC entre 15,2% y 15,8%, cosechado a los 14 días, para FVH de maíz irrigado solo con agua suficiente. Müller *et al.* (2005) mencionan que puede haber reducciones a medida que avanza la madurez del cultivo, pues aducen que a los 12 días obtuvieron FVH de maíz con 17,4% de PC y a los 14 días se redujo a 13,4%. Esta afirmación es complementada por Vargas (2008), quien trabajando con maíz hidropónico obtuvo valores de 11,7% de PC a los 16 días y a los 20 días de cosecha registró 9,61% de PC.



Figura 2. Materia seca (Kg m²), para FVH de maíz lluteño y maíz comercial, regados con agua con distintas concentraciones de salinidad.

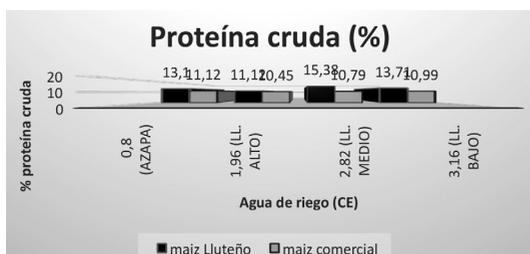


Figura 3. Porcentaje de proteína cruda, para variedades de maíz lluteño y comercial, regados con 4 calidades de agua, para forraje verde hidropónico.

Energía metabolizable (EM)

El análisis de varianza para el parámetro contenido de energía metabolizable nos indica que con un nivel de confianza del 95% existen diferencias significativas entre los tratamientos, y su coeficiente de variabilidad es de un 1,98%, aceptable para las condiciones del experimento. La tabla nos muestra que existen diferencias altamente significativas para los tres factores porque el P valor es menor al nivel de significancia (0,05) (Figura 4).

La estadística nos indica que al evaluar el contenido de energía metabolizable, detectan diferencias altamente significativas entre los tipos de semillas. Contrario a todos los resultados de

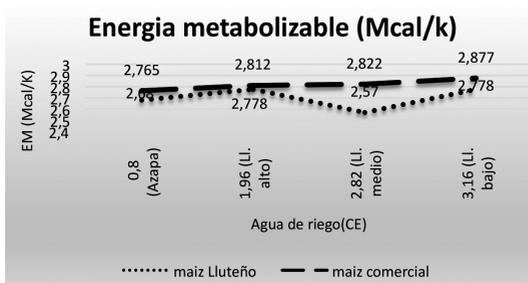


Figura 4. Energía metabolizable (Mcal/k) en FVH de maíz lluteño y comercial, regados con cuatro calidades de agua.

los parámetros estudiados, es posible observar en el gráfico que la EM (Mcal/K) de forraje verde hidropónico de maíz comercial es mayor a la EM del FVH de maíz lluteño.

Estos resultados pueden estar directamente relacionados con el contenido de ceniza (minerales), factor analizado anteriormente donde el forraje verde de maíz lluteño superó al FVH maíz comercial, en el cual el tratamiento con mayor contenido de ceniza precisamente es el que presenta menor energía metabolizable (T5: 2,57) y el tratamiento con menor contenido de ceniza es el que muestra el mayor contenido de EM (T8: 2,877).

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los que reportan López *et al.* (2009) en FVH de maíz con valores entre 2,4 - 2,5 Mcal/kg MS e inferiores a los registrados por Ramírez (2016) con un promedio de 3,20 Mcal/kg MS, así como al análisis del valor nutricional de FVH de maíz presentado por Gil (2009) correspondiente a 3,216 Kcal/kg MS.

Pese a la diferencia existente entre los tipos de maíz, los valores obtenidos tanto por el FVH de maíz lluteño como por el FVH de maíz comercial se encuentran dentro del rango aceptable, ya que López *et al.* (2009) indican que un forraje de buena calidad aporta EM de alrededor de 2 Mcal/kg de MS, y cuando se alimentan cabritos recién destetados o cabras lecheras de alta producción es indispensable incrementar el contenido de energía de la dieta a 2,5-3,0 Mcal/kg MS.

Uso eficiente del agua

El agua es uno de los requisitos básicos para la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas, ya que es esencial para la activación enzimática, almacenamiento de reservas,

descomposición, translocación y uso en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas (Copeland y MacDonald, 1995; Al-karaki y Al-momani, 2011) (Figura 5).

La Figura 5 nos muestra que el forraje verde hidropónico de maíz lluteño es más eficiente en cuanto al gasto de agua, comparado con el FVH de maíz comercial. Ello está asociado principalmente al rendimiento de materia seca de cada tipo de maíz, donde el maíz local alcanzó valores superiores al maíz comercial. Del mismo modo se observa en el gráfico 2, que el T5 es el de mayor UEA, logrando 90,5 kg de materia seca por m³ de agua, y el T8 es el de menor UEA, ya que con 1 m³ de agua solo se obtienen 24 kg de materia seca.

En la Tabla 18 se observa que para producir 1 kg de FVH se gastaron entre 2 y 4 litros de agua. Estos resultados concuerdan con los que reporta la FAO (2002), según los cuales para producir un kilo de FVH se requieren de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca entre 12 y 18%.

Al comparar la producción de forraje verde obtenida en este experimento vemos que el tratamiento mejor evaluado (T5) alcanzó 498 kg/m³ de forraje fresco, valores levemente menores a los encontrados por Al-karaki y Al-hashimi (2012), quienes lograron 645 y 521 kg de forraje fresco/m³ en cebada y alfalfa respectivamente.

La producción de forraje verde bajo condiciones hidropónicas es un proceso altamente eficiente en términos de ahorro de agua en comparación con la producción en el campo de forraje verde, como se evidencia en el Tabla 4. Se muestra el uso eficiente del agua UEA de algunas especies forrajeras cultivadas con métodos convencionales, donde se observa que para obtener de 1 a 8 kg de materia seca de alimento para ganado se emplea 1 m³ de agua de riego. Estos valores son incluso menores a los

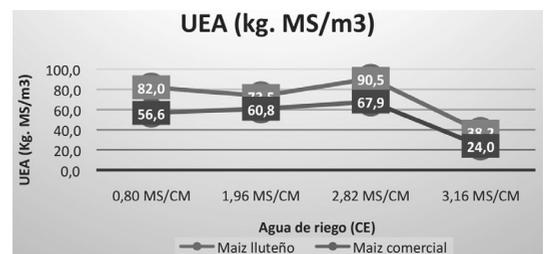


Figura 5. Uso eficiente del agua (UEA) para FVH de dos variedades de maíz (lluteño y comercial), regados con cuatro calidades de agua.

obtenidos por el tratamiento con menor eficiencia de este experimento, el cual corresponde al T8, que utilizando el mismo volumen de agua alcanza a producir 24 kg MS. Aunque se han evaluado métodos de riego recientemente incorporados a los sistemas agrícolas, como el riego por goteo subterráneo, para producir pasturas con menores cantidades de agua, la realidad es que el UEA sigue manteniendo valores bajos de 1,6 y 1,9 kg MS/m³ en comparación con los calculados para el sistema de producción de FVH.

Conclusiones

El forraje verde hidropónico de maíz lluteño obtuvo mayor rendimiento que el maíz comercial, ambos regados con agua de distintas concentraciones de sal (CE).

El análisis bromatológico revela que el porcentaje de materia seca y el contenido de proteína cruda fue mayor en el FVH de maíz lluteño, mientras que en el porcentaje de energía metabolizable el FVH de maíz comercial resultó levemente superior al maíz local. Sin embargo, los valores obtenidos se encuentran dentro de los requerimientos suficientes para cubrir las necesidades básicas de alimentación de diversos tipos de ganado, exceptuando los registrados en los tratamientos regados con agua del sector bajo del valle de Lluta con CE de 3,16.

Al evaluar el factor salinidad sobre el rendimiento y calidad nutricional del FVH, se observa un efecto sobre los parámetros altura de planta y contenido de materia seca, donde el FVH regado con CE 3,16 (Lluta bajo) presenta diferencias significativas respecto de FVH regado con CE 0,8; 1,96 y 2,82, los cuales son similares entre sus promedios. Sin embargo, para los factores de proteína cruda y energía metabolizable el carácter genético del maíz parece ser más determinante que el efecto de las sales.

Asimismo, el tratamiento 5, correspondiente al FVH de maíz lluteño, regado con agua con CE de 2,82 mS/cm propio del sector medio del valle de Lluta, resultó con los mejores promedios en cuanto a altura de planta (25,8 cm); materia seca por kilogramo por metro cuadrado (6,4); proteína cruda (15,38%); y UEA.

Los resultados de este estudio para el uso eficiente del agua indican que con 1m³ de agua es posible obtener entre 24 y 90,5 kg de materia seca, en 14 días de producción, comparados con los valores de eficiencia de cultivos con riego tradicional que no sobrepasan los 10 kg de MS/m³, además de usar superficie 100 veces menor a la de los cultivos tradicionales. Esto indica un alto grado de eficiencia e importante ahorro del recurso agua, considerando que aún se pueden realizar mejoras en el sistema como la fertilización y el manejo de temperaturas.

La producción de forraje verde hidropónico en el valle de Lluta y el valle de Azapa, utilizando semilla local como el maíz lluteño, tiene grandes posibilidades, dado el rendimiento y la calidad nutricional del pienso obtenido.

Por consiguiente, la producción de forraje verde hidropónico se presenta como una alternativa real de alimento para el ganado de la zona, por ser una tecnología que entrega un pienso de calidad y que además permite el uso de agua con alto contenido de salinidad, así como un ahorro importante de este recurso. Sin embargo, se sugiere realizar más estudios que impliquen el uso de otras semillas forrajeras como la cebada, el trigo, el sorgo y la quinua, del mismo modo que la aplicación de fertilizantes para mejorar el rendimiento.

Agradecimientos

Los autores del estudio agradecen al Proyecto Mayor UTA 9721-12 de la Universidad de Tarapacá por el financiamiento otorgado.

Literatura citada

- Al-Karaki, G.; Al-Hashimi, A.
2012. Green Fodder Production and Water Use Efficiency of Some Forage Crops under Hydroponic Condition, *ISRN Agronomy*, 2012. doi:10.5402/2012/924672.
- Al-Karaki, G.; Al-Momani, A.
2011. Evaluation of Some Barley Cultivars for Green Fodder Production and Water Use Efficiency under Hydroponic Conditions, *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 7: 448-457.
- Avello M.; Suwalsky M.
2006. Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. Editorial Atenea Concepción. Atenea N° 494-II Sem. 2006: 161-172.
- Bastías, E.; Díaz, M.; Pacheco, P.; Bustos, R.; Hurtado, E.
2011. Caracterización del maíz ("Lluteño" *Zea mays* L. tipo amylacea) proveniente del norte de Chile, tolerante a NaCl y exceso de boro, como una alternativa para la producción de bioenergía. *Idesia*, 29(3): 7-16.

- Chang, M.; Hoyos, M.; Rodríguez, A.
2000. Producción de forraje verde hidropónico. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú. 56 p.
- Cicek, N.; Cakirlar, H.
2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulg. J. Plant Physiol.* 28 (1-2): 66-74.
- Cofre, P.; Jahn, E.
2003. ¿Cómo interpretar los análisis de forrajes? Boletín INIA N° 42. INIA. Quilamapu, Chillán, Chile. 2 p.
- Copeland, L.O.; McDonald, M.B.
1995. Principles of seed science and technology. Chapman and Hall. New York, US. 409 p.
- Cuesta, T.; Machado, R.
2009. Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. *Boetnia*, 6 (2): 127-134.
- FAO.
2001. Manual técnico, forraje verde hidropónico. Food and Agriculture Organization. Santiago, Chile. 11 p.
- FAO.
2002. Forraje verde hidropónico. Food and Agriculture Organization. Santiago, Chile. 69 p.
- Ferreira, R.; Aljaro, A.; Ruiz, R.; Rojas, L.; Oster, J.
1997. Behavior of 42 crop species grown in saline soils with high boron concentration. *Agricultural water management*, 34:111-124.
- Gil, V.
2009. Producción de forraje verde hidropónico. Lima, Perú. 60 p.
- Guerrero, A.
1992. Cultivos herbáceos extensivos. 5ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 779 p.
- Gutiérrez, I.; Sánchez, S.; Calderón, F.
2000. Cultivos hidropónicos. Fascículo 9. Editorial Génesis. Bogotá, Colombia. 9 p.
- Köster, H.H.; Woods, B.C.; Cocham, R.C.; Vanzant, E.S.; Titgemeyer, E.C.; Grieger, D.M.; Olson, K.C.; Stokka, G.
2002. Effect on increasing proportion of supplemental N from urea in prepartum supplements on range beef cow performance and on forage intake and digestibility by steers fed low-quality forage. *J. Anim. Sci.*, 80: 1652-1662.
- Layne, J.; Méndez, J.; Mayz, J.
2008. Efecto de la salinidad y el tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 11: 17-25.
- López, R.; Murillo, B.; Rodríguez, G.
2009. El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zona árida. *Interciencia*, 34: 1-6.
- Müller, L.; Manfron, P.; Santos, O.; Medeiros, S.; Haut, V.; Dourado, D.; Binotto, E.; Bandeira, A.
2005. Producción y composición bromatológica de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) con diferentes densidades de siembra y días de cosecha. *Brasil. Zootecnia Tropical*, 23(2): 105-119.
- Ramos, C.
1999. El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia, España. Disponible en: <http://www.egs.com.es/02e5469c45127606d/02e5469b521035908/02e5469c2c0dbca50.php>. Consultado: 25/sep/ 2020.
- Rivera, R.; Moronta, M.; González-Estopiñán, E.; González, D.; Perdomo, D.; García, D.; Hernández, G.
2010. Producción de forraje verde hidropónico de maíz en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia Trop.* 28(1):33-41.
- Sánchez, A.; Meza, A.; Álvarez, A.; Rizzo, L.; Guadalupe, A.
2010. Forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) deshidratado en el engorde de conejos Nueva Zelanda (*Oryctolagus cuniculus*). *Revista Ciencia y Tecnología*, 3(2): 21-23.
- Santoro, C.; Romero, A.; Standen, V.
2000. La Arqueología y la Etnohistoria de los Andes. Editorial Yuta-Uta. Arica, Chile, 220 p.
- Sepúlveda, G.; Salvatierra, R.; Palza, F.; Rodríguez, M.
2013. Estudio técnico: Aceituna de Azapa, Proyecto: Mejoramiento tecnológico rubro olivícola 1.0: Camino a la diferenciación productiva de la aceituna de Azapa Código BIP 30110595-0. Universidad de Tarapacá, Arica, Chile. 61 p.
- Soto, F.; Ramírez, C.
2018. Efecto de la nutrición mineral en el rendimiento y las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz. *Pastos y Forrajes*, 41(2): 106-113.
- Tapia, F.
2009. Estudio Básico: Investigación Silvoagropecuaria de Innovación en la I Región. Boletín INIA N° 197. INIA. Santiago, Chile. 144 p.
- Torres, A.; Acevedo, E.
2008. El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *Idesia*, 26 (3): 31-44.
- Valverde, Y.A.; Mera, A.; Castro, C.; Gabriel-Ortega, J.
2017. Producción de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) utilizando fertilizantes químicos y orgánicos. *J. Selva Andina Biosph.*, 5(2): 144-151.
- Vargas, C.
2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronómica mesoamericana*, 19 (2): 233-240.
- Villavicencio, A.
2014. Producción de forraje hidropónico. Boletín INIA N° 285. INIA LA PLATINA. Santiago, Chile. 44 p.

