



UNIVERSIDAD NACIONAL "SIGLO XX"
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



Revista Científica

AGROCIENCIA

Volumen **2**, número **1**, año **2022**

Depósito legal: **7-3-439-2022**

Dirección General de Investigación UNSXX, edificio de La Transparencia, segundo piso, calle Campero # 36,
teléfono: (591) 72455458
Centro de Investigación, Producción y Extensión Agropecuaria (CIPEA - K'enko), Carrera Ingeniería Agronómica
UNSXX, teléfono: (591) 72457620
E-mail: dgi@unsxx.net, web: <http://unsxx.edu.bo/revista-unsxx/>.
Llallagua, Potosí, Bolivia

Revista Científica
AGROCIENCIA

Volumen 2, Número 1

Noviembre de 2022

Depósito Legal: 5-1-1545-2021

El presente volumen es propiedad de los AUTORES, cualquier reproducción y/o difusión total o parcial de esta obra, por cualquier forma, sea medios mecánicos o electrónicos, inclusive por fotocopia, grabación magnetofónica y cualquier sistema de almacenamiento de información, está prohibida y penada por la ley conforme disposiciones legales en vigencia (DERECHO DE AUTOR, LEY N° 1322 del 13 de abril de 1992), salvo el previo consentimiento escrito de los AUTORES.

IMPRESIÓN

Imprenta Universidad Nacional “Siglo XX”

Teléfono Fax: 591-22484948

WhatsApp: 591-71715418

E-mail: vicoalfaro@gmail.com

Página web: <http://unsxx.edu.bo>

PRESENTACIÓN

La Dirección General de Investigación (DGI) y la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional “Siglo XX”, presenta a la comunidad académica y científica, el volumen 2, número 1 de 2022, de la Revista científica “AGROCIENCIA”, publicación a través de la cual, se difunde la producción científica de investigadores de la Carrera Ingeniería Agronómica y de la comunidad científica del país.

Los resultados obtenidos por cada investigación, que son presentados en este volumen hacen énfasis en la solución a problemas y demandas a nivel local, regional y nacional, situándolo en una perspectiva de transferencia tecnológica a corto, mediano y largo plazo.

Los manuscritos de los artículos de este volumen, fueron revisados minuciosamente por el comité editorial y pares revisores en el marco de las normas APA 7ma edición, la relevancia de su contenido fue el factor de su aceptación y divulgación en la presente revista científica.

La DGI y la Carrera de Ingeniería Agronómica expresan su especial reconocimiento a los autores de los artículos, por cuanto, en sus trabajos se plantean propuestas y soluciones significativas a problemas y necesidades de la sociedad.

MsC. Agr. A. Willams Pillco Colque
DIRECTOR
GENERAL DE INVESTIGACIÓN

Dr. Agr. Porfirio David Gordillo Romero
DIRECTOR
CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA

REVISTA CIENTÍFICA AGROCIENCIA

Volumen 2, número 1, año 2022

Autoridades universitarias

MsC. Abg. Pablo Ramiro Martínez Bustillos	Rector
MsC. Agr. A. Willams Pillco Colque	Director General de Investigación
Dr. Agr. Porfirio David Gordillo Romero	Director Carrera de Ingeniería Agronómica

Cuerpo editorial

Dr. Agr. Esteban Choque Conde (Presidente)	Universidad Nacional “Siglo XX”
MsC. Agr. Humberto Álvarez Cabrera (Secretario)	Universidad Nacional “Siglo XX”
MsC. Agr. Jorge Saavedra Villalobos (Vocal)	Universidad Nacional “Siglo XX”

Staff de Revisores

Dr. Mv. Francisco Pastor López	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México
Dr. Agr. Walter Maradiaga Rodríguez	Universidad Nacional de Agricultura-Campus Comayagua, Tegucigalpa, Honduras
Dr. Agr. Rodrigo Máximo Sánchez Román	Universidad Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Facultad de Ciencias Agronómicas-campus de Botucatu, Sao Paulo, Brasil
Dr. Agr. Ariel Santiváñez Aguilar	Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia
Dr. Agr. Juan Lerdón Ferrada	Universidad Austral de Chile, Facultad de Economía Agrícola, Valdivia Chile
MsC. Sonia Susana Hannover Saavedra	Universidad Mayor de San Andrés; Sociedad Boliviana de Salud Pública – SBSP, La Paz, Bolivia
MsC. Agr. Ransés José Vázquez Montenegro	Instituto de Meteorología, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba
MsC. Agr. Blanca Cecilia Pérez Escalante	Universidad Central del Ecuador – Facultad de Medicina Veterinaria, Quito, Ecuador.
Ing. Agr. Nancy Huanca Alanoca	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), Bolivia.

ÍNDICE

Comportamiento Agronómico de tres Líneas de Arveja China (<i>Pisum sativum</i> L. ssp <i>Sativum</i> var. <i>Macrocarpon</i> Ser) en el Altiplano Boliviano	1-17
Arminda Rojas Tincuri, Abraham Willams Pillco Colque, Esteban Choque Conde	
Efecto del Ácido Indol Butírico en la multiplicación vegetativa del Cedrón (<i>Aloysia triphylla</i> L´Herit.) en ambiente controlado	18-24
Fidel Inocente Pari, Jorge Saavedra Villalobo	
Modelo para la Evaluación de la Sostenibilidad de Sistemas de Riego	25-34
Porfirio David Gordillo Romero	
Criterios de Diagnostico e Indicadores Estratégicos para la Evaluación de la Sustentabilidad en Sistemas de Riego Bajo una Agricultura Intensiva en la Cuenca de Paria departamento de Oruro	35-50
Martha Meneses Mancilla	
Estrategia de manejo de la Cuenca de Quinuamayu del municipio de Llallagua provincia Rafael Bustillo del departamento de Potosí Bolivia	51-58
Valentín Loredó Gareca	
Tratamiento de Aguas Termales para Riego	59-64
Ramiro Cruz Gonzales	
Acabado de Corderos Corriedale (<i>Ovis aries</i>) en Época de Estiaje con Suplementación Alimenticia de Granos Forrajeros	65-72
Luis Canaviri Ajalla, Freddy Luis Cadima Valda	
Sistema Hidropónico Automatizado bajo Invernadero para la Producción de Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	73-81
Isaac Ayanoma Jarro, Humberto Álvarez Cabrera	

Comportamiento Agronómico de tres Líneas de Arveja China (*Pisum sativum* L. ssp *Sativum* var. *Macrocarpon Ser*) en el Altiplano Boliviano

Arminda Rojas Tincuri¹, A. Willams Pillco Colque², Esteban Choque Conde³

¹Tesista, Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional "Siglo XX"

²Director General de Investigación, Universidad Nacional "Siglo XX"

³Director del Instituto de Investigación, Universidad Nacional "Siglo XX", 74117647, dgi@unsxx.net.

Resumen

La investigación tiene el objetivo de determinar la adaptabilidad de líneas de arveja china a un escenario geográfico de clima altiplánico de 3803 msnm, con precipitación media de 602,33 mm año⁻¹ y temperatura media 17,56°C, aplicando el método de riego para maximizar la producción. Para el efecto, las tres líneas de arveja china fueron: línea Pea6-1, línea Pea6-2 y línea Pea6-3 y los métodos de riego aplicados fueron: surcos, melgas y goteo, el experimento fue conducido bajo el diseño cuadrado latino en parcelas divididas, durante el periodo agrícola 18/12/2020 al 26/04/2021. Los resultados muestran al riego por goteo como el mayor y mejor contribuyente en la producción de arveja china, alcanzando un rendimiento de 15,00 t ha⁻¹ superior a los obtenidos con riego por melgas y surcos de 12,3 t ha⁻¹ y 11,90 t ha⁻¹ respectivamente, además, de mostrar menor tiempo en su ciclo productivo (floración en 63 días y maduración de la vaina en 89 días), mayor número de vainas por planta de 35 y por nudo con 1,49 vainas por nudo en promedio, con mayor altura de planta (1,64 m). Entre las líneas de arveja china, la Pea6-3, con 13,7 t ha⁻¹, con ciclo productivo más largo (floración en 60 días y maduración en 84 días) en comparación con la zona de los valles (Cochabamba).

Palabras clave: Evapotranspiración de referencia, métodos de riego, rendimiento, variables de respuesta.

Agronomic performance of three Lines of China Peas (*Pisum sativum* L. ssp *Sativum* var. *Macrocarpon Ser*) in the Bolivian Altiplano

Rojas Tincuri, A., Pillco Colque, A. W., Choque Conde, E.

Abstract

The objective of the research is to determine the adaptability of snow pea lines to a geographic scenario of a highland climate of 3,803 msnm, with an average rainfall of 602.33 mm year⁻¹ and an average temperature of 17.56°C, applying the irrigation method to maximize the production. For this purpose, the three snow pea lines were: Pea6-1 line, Pea6-2 line and Pea6-3 line and the applied irrigation methods were: furrows, platforms and drip, the experiment was conducted under the Latin square design in divided plots, during the agricultural period 12/18/2020 to 04/26/2021. The results show drip irrigation as the largest and best contributor to snow pea production, reaching a yield of 15.00 t ha⁻¹ higher than those obtained with bed and furrow irrigation of 12.3 t ha⁻¹ and 11.90 t ha⁻¹ respectively, in addition to showing shorter time in its productive cycle (flowering in 63 days and pod maturation in 89 days), higher number of pods per plant of 35 and per node with 1.49 pods per node on average, with a higher plant height (1.64 m). Among the snow pea lines, Pea6-3, with 13.7 t ha⁻¹, with a longer production cycle (flowering in 60 days and maturation in 84 days) compared to the valley area (Cochabamba).

Keywords: Reference evapotranspiration, irrigation methods, yield, response variables.

Introducción

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una leguminosa muy aceptada a nivel mundial, por ser rica en hierro y proteínas, apta para el consumo humano y animal, lo que ha repercutido su interés del cultivo, especialmente, en Estados Unidos, Canadá y Europa (Gonzales, 2001). Por su amplia adaptabilidad, se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altitud, siendo los principales países productores por orden de importancia India, China y Estados Unidos (FAOSTAT, 2008).

Los tipos de arvejas que se cultivan a nivel mundial para consumo en grano, tanto fresco como seco, a diferencia de la arveja común, existen otras como las arvejas para consumo en vaina, que son las que carecen de endocarpio (*Pisum sativum* L. *spp* *Sativum* var. *Macrocarpon* Ser). Dentro de este grupo se encuentran dos tipos, la snow o chinas y la snap, estas dos se diferencian por el grosor de la pared de la vaina, la snow mantiene un perfil delgado y alargado; mientras la snap es de pared gruesa y redonda (Stephens, 1994 y Myers et al., 2001).

La arveja china es una leguminosa cultivada para el consumo de sus vainas; estas resultan comestibles por no presentar fibra en la unión de sus valvas (pericarpio), y por carecer de endocarpio; cuenta con características comestibles muy particulares. Su sabor, color y nutrientes hacen que el vegetal sea muy solicitado en la gastronomía, es una planta rica en carbohidratos de 18,80 g/100 g/producto, proteínas de 7 a 10 g, vitamina A, B, C y niacina (CONABIO, 2009).

Calderón *et al.* (2012), manifiestan que la arveja china es de origen Mediterráneo y África Oriental, aunque algunos autores señalan que la arveja china es originaria de Europa. Es una leguminosa que se utiliza tanto para el consumo de vaina y grano cuando esté en estado tierno.

La producción de la arveja china ha ido en aumento en Centro como en Sur América, creciendo en un 15% cada año; sin embargo, la demanda del mercado internacional excede por mucho más a la oferta, lo que ha originado que los exportadores busquen más grupos de productores (Ramírez, 2012).

La arveja china en Bolivia todavía se cultiva de forma esporádica, en algunas regiones con la variedad introducida de Estados Unidos de Norte América (*Mammoth melting sugar*) al departamento de Cochabamba, que con el transcurrir del tiempo de alguna manera va satisfaciendo las necesidades de su mercado interno y que crece lentamente (Siles, 2019). En Bolivia se adapta bien en alturas comprendidas entre 1.500 y 2.800 m. Se desarrolla bien en temperaturas comprendidas entre 15°C a 18°C máximo de 24°C y mínimo de 7°C y en clima templada. Cuando las temperaturas son muy elevadas aborta tanto flores como frutos. Es una planta resistente al clima frío y poco resistente a la sequía (SICA/MAG, 2001).

En la actualidad en la región del Norte de Potosí se cultivan variedades de arveja común con bajos rendimientos de 1,40 t ha⁻¹ a nivel departamental y de 0,7 t ha⁻¹, de ciclo tardío con cinco meses de producción (MAGADR/UE 2000), por esta razón, el cultivo de arveja china viene a ser como una alternativa en el consumo de la dieta alimentaria de la población, asimismo, la diversificación de esta nueva especie en los mercados de abasto.

En este sentido, el cultivo de arveja china, tiene un valor nutricional excelente, su alto contenido proteínico que lo convierte como una alternativa nutricional en la alimentación y su alto valor económico, pudiendo ser una gran opción para la producción y generación de ingresos económicos y alimentación de los pobladores de la región, por otra parte, no existe nuevas variedades introducidas y adaptadas que si sean una alternativa para la diversificación de la producción agrícola.

El Centro de Investigaciones Fitotecnicas de Pairumani (CIFP) situado a 2500 m de altitud, entre sus programas de mejoramiento, han desarrollado líneas de arveja china con buenos rendimientos en vaina verde y con características deseadas por los consumidores, actualmente cuenta con seis líneas promisorias; sin embargo, el comportamiento de este material en la zona del Norte Potosí es desconocido y puede ser completamente diferente a lo observado en Cochabamba, esto debido a la interacción genotipo ambiente (Márquez, 1985).

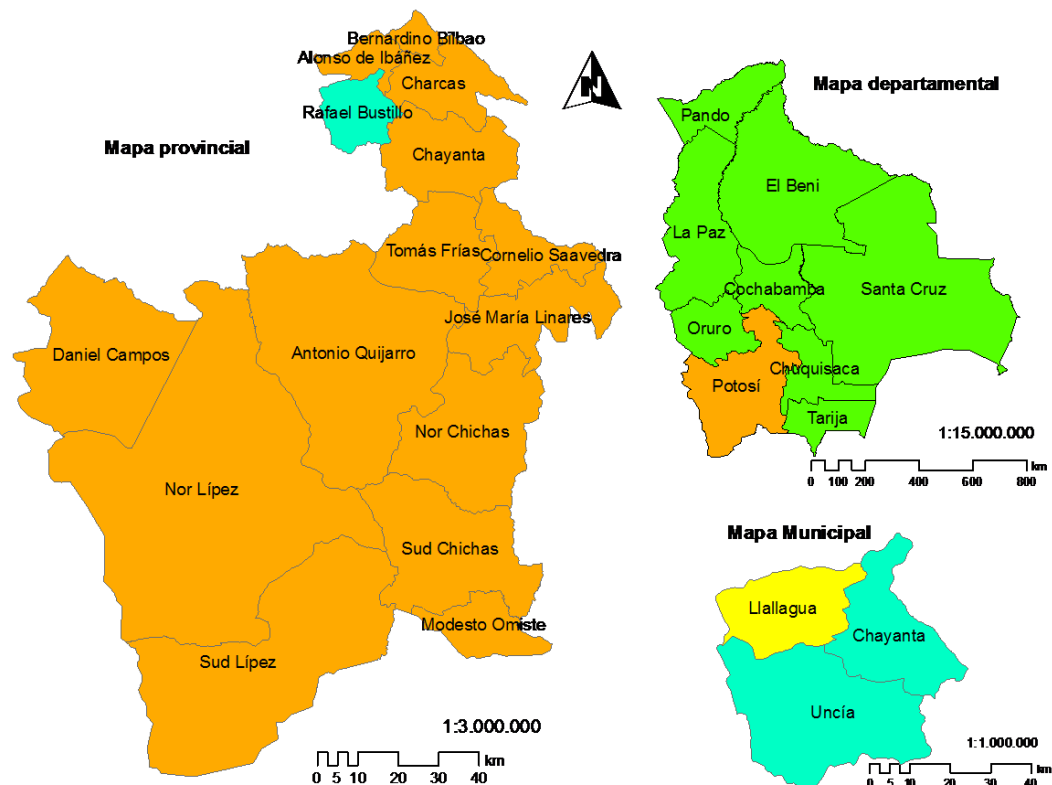
Por los antecedentes descritos, es importante incorporar este cultivo a la zona, como una alternativa para la producción agrícola, para el efecto, se cuenta con tres líneas de arveja china, las mismas han sido evaluadas bajo las características edafo-climáticas de la zona. A raíz de esto, en el trabajo de investigación, se evaluó el comportamiento agronómico de tres líneas de arveja china (*Pisum sativum L. ssp Sativum var Macrocarpon Ser*) cultivado bajo diferentes métodos de riego en el Centro de Investigación Producción y Extensión Agropecuaria (CIPEA) K'enko de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional "Siglo XX", de la ciudad de Llallagua, situado a 3803 de altitud.

Materiales y Métodos

Localización del área del estudio

La investigación fue realizada en el CIPEA K'enko, de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional "Siglo XX" (UNSXX), situado en el municipio de Llallagua, provincia Rafael Bustillo, departamento Potosí, país Bolivia, la región Sur del altiplano boliviano. Geográficamente, se encuentra entre las coordenadas de latitud Sur de 18° 25' 40.6" y longitud Oeste de 66° 37' 34", encontrándose a una altitud promedio de 3803 m (Figura 1).

Figura 1. Localización política del municipio de Llallagua



La zona de estudio, por su nivel de altitud, presenta una temperatura máxima promedio de 17,56°C, con una mínima promedio de 3,14°C y la precipitación pluvial promedio anual es de 602,33 mm año⁻¹, elementos climáticos que posicionan a grupos climáticos de estepa, con invierno seco y frío (BSwk), de tundra (ET) y de alta montaña (EB) según Montes de Oca (1997) en base la clasificación climática de Köppen (1936).

Diseño experimental

El diseño experimental indicado fue analizado con un modelo lineal mixto, en cuadrado latino, distribuido en parcelas divididas con tres filas y tres columnas. En las parcelas principales se encuentran los métodos de riego y las secundarias las líneas de arveja china, como métodos de riego se tienen: Riego por surcos (M₁), Riego por melgas (M₂), Riego por goteo (M₃) y,

como Líneas de arveja china se tienen: Línea Pea6 – 1 (L_1), Línea Pea6 – 2 (L_2), Línea Pea6 – 3 (L_3). Cada tratamiento cuenta con tres repeticiones, haciendo un total de 27 unidades experimentales, el modelo matemático se muestra en la Ecuación (1).

$$Y_{ijk\ell} = \mu + \varphi_i + k_j + \alpha_k + \xi_{ijk} + \theta_{\ell} + \kappa_{k\ell} + \xi_{ij\ell k} \quad (1)$$

Dónde:

Y_{ijk} : Variable de respuesta, en la parcela sembrada de la k-ésima línea de arveja china con la aplicación del j-ésimo método de riego en el i-ésimo bloque.

μ : Media general.

φ_i : Efecto aleatorio de la i-ésima fila ($i = 1, 2, 3$).

k_j : Efecto aleatorio de la k-ésima columna ($j = 1, 2, 3$).

α_k : Efecto fijo del i-ésimo factor método de riego ($k = 1, 2, 3$).

ξ_{ijk} : Efecto fijo aleatorio de la interacción entre la i-ésima fila, j-ésima columna y k-ésima método de riego.

θ_{ℓ} : Efecto fijo de la k-ésima línea arveja china ($\ell = 1, 2, 3$).

$\kappa_{k\ell}$: Efecto fijo de la interacción entre el j-ésimo método de riego y k-ésima línea de arveja china.

$\xi_{ij\ell k}$: Efecto aleatorio de las residuales.

Para determinar las líneas de arveja más sobresalientes, se realizó comparaciones de medias mediante contraste de un grado de libertad, usando el estadístico de t y nivel de significancias del $\alpha = 0,05$.

Demanda de agua del cultivo

Evapotranspiración de referencia

Para estimar la demanda de agua del cultivo de arveja china, inicialmente, se determinó la Evapotranspiración de referencia (ET_0) en base al método empírico de Penman – Monteith del boletín de la FAO 56 (Allen et al. 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

Dónde:

ET_0 : Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}).

R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

R_a : Radiación extraterrestre (mm día^{-1}).

G : Flujo del calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

T : Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$).

U_2 : Velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1}).

e_s : Presión de vapor de saturación (kPa).

e_a : Presión real de vapor (kPa).

$e_s - e_a$: Déficit de presión de vapor (kPa).

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

γ : Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Para el cálculo, se utilizó datos climáticos diarios de insolación, temperatura mínima y máxima del aire, humedad relativa atmosférica y velocidad del viento, de la estación meteorológica de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la UNSXX, durante el ciclo del cultivo, que comprendió los registros del 1/12/2020 al 30/04/2021.

Evapotranspiración del cultivo

La Evapotranspiración de cultivo (ET_c) se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. En la Ecuación (3), se muestran las variables implicadas en la estimación de la ET_c bajo condiciones estándar (Allen et al., 1998).

El factor de cultivo (K_c) es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por el cultivo, del cual, se requiere evaluar su consumo de agua (Vásquez, 2017).

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad (3)$$

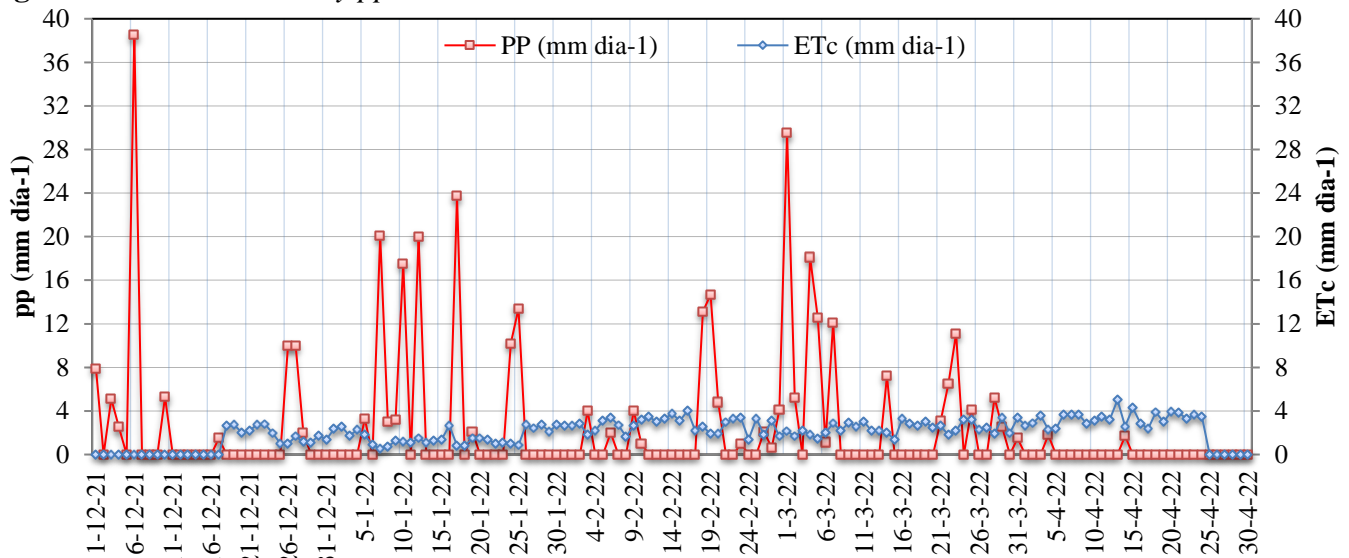
Dónde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (mm día^{-1}).

ET_0 : Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}).

K_c : Coeficiente del cultivo (adimensional).

El requerimiento hídrico del cultivo fue más demandado en los meses de diciembre febrero, marzo y abril, durante la etapa de desarrollo, floración y maduración (Figura 2), ya que no acompañaron las lluvias. Según CIFP (2001) el cultivo de arveja es moderadamente demandante de agua, se desarrolla muy bien en zonas donde el promedio de la precipitación media anual es de 800 a 1,200 mm año^{-1} , información que juega en contra, ya que, en la región de estudio el promedio de precipitación alcanza apenas a 602,33 mm año^{-1} , por lo que fue imprescindible aplicar riego complementario.

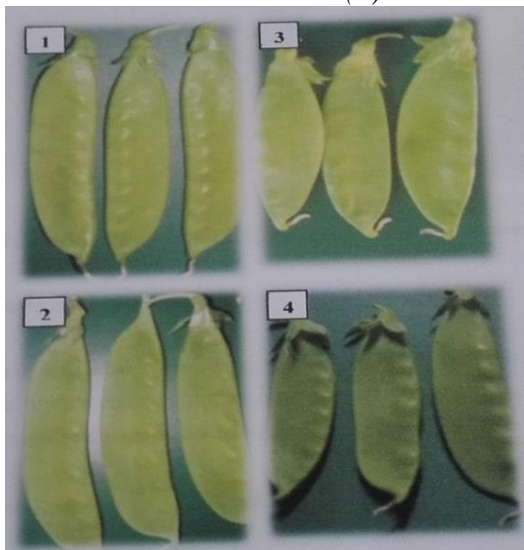
Figura 2. Curva de la ETc y pp diaria en mm día⁻¹ durante el ciclo del cultivo**Variables de respuesta**

Según el Centro de Investigación Fitotecnia Pairumani (2010), la arveja china se comporta mejor en climas frescos, templados y relativamente húmedos. La temperatura requerida por este cultivo oscila entre 7 a 24°C, con una óptima media de 15°C. En relación a los datos obtenidos, la temperatura registrada en el municipio de Llalagua se encuentra dentro de los parámetros requeridos por el cultivo de arveja china.

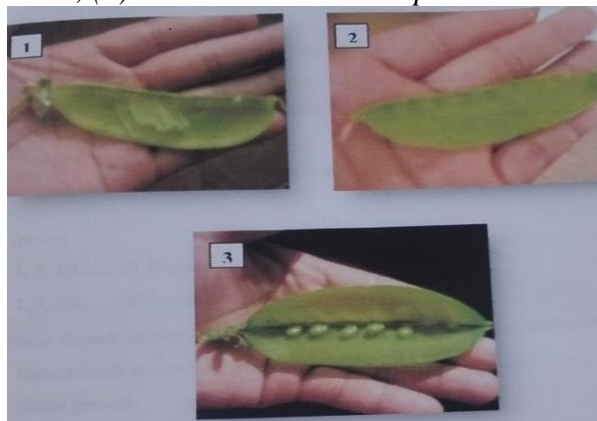
Las variables de respuesta de la Tabla 1 fueron evaluadas, tomando muestras de forma aleatoria en los surcos de cada unidad experimental donde se identificó cinco plantas al azar, las mismas fueron demarcadas para su seguimiento.

Tabla 1. Variables de respuesta evaluadas

Variables de respuesta		Descripción del proceso
Días a la floración	DF	En cada unidad experimental se registró el tiempo transcurrido desde la siembra hasta que el 50% de las plantas presentaron la primera flor abierta.
Días a la maduración en vaina	DM	Se evaluó los días transcurridos desde la siembra hasta que en el 50% de las primeras vainas se observó las semillas pequeñas e inmaduras listas para consumo en vaina (madurez comercial).
Número de nudos por planta	NNP	El número de nudos productivos se evaluó al momento de la cosecha de la vaina, en cada una de las cinco plantas tomadas al azar.
Numero de vainas por planta	NVP	Se evaluó al momento de la cosecha, cuantificando el número de vainas producidas por cada una de las cinco plantas tomadas al azar por unidad experimental, en cada cosecha se evaluó esta variable, haciendo un total de 10 cortes.
Longitud de la vaina	LV	En cada una de las cinco plantas donde se evaluó el número de vainas se procedió a la medición de la longitud de una vaina tomando al azar de la parte central de la planta.
Ancho de la vaina	AV	El ancho de la vaina fue medida en la parte central de la misma vaina donde se midió la longitud, esta fue medida en centímetros.
Altura planta	AP	Esta variable fue evaluada en cada unidad experimental de muestro, midiendo la longitud de cada una de las 5 plantas marcadas al azar, desde el cuello hasta el ápice de la planta.
Rendimiento en vaina verde	R	Las cosechas se realizaron de dos surcos centrales de cada unidad experimental, por efecto de bordura, posteriormente se realizó el pesado de las vainas en una balanza analógica. Para determinar el rendimiento de vaina verde, se procedió a la sumatoria de 10 a 12 cosechas de cada una de las tres líneas de diferentes métodos de riego.

Figura 3. Variables cualitativas (a) color de la vaina tierna, (b) contenido de endocarpio

Nota: (a) Color de la vaina tierna: Se evaluó visualmente en base a una guía de colores de acuerdo a las siguientes escalas: (1) Verde brillante, (2) Verde, (3) Verde claro, (4) Verde oscuro



Nota: (b) Contenido de endocarpio: La presencia o ausencia del endocarpio se evaluó partiendo la vaina por la mitad, este procedimiento se realizó en cada una de las 5 plantas tomadas al azar en cada unidad experimental. Además, observando la resistencia que tiene la vaina al partirse de acuerdo a la siguiente escala: (1) Tiene membrana, (2) Manchas, (3) No tiene membrana

Resultados y Discusión

Calidad de suelo y requerimiento de nutrientes del cultivo

La determinación de la calidad del suelo de la parcela experimental, fue producto del análisis físico – químico, realizado en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de

Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Forestales “Martín Cárdenas” de la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, Bolivia, durante el mes de noviembre de 2020, para el efecto, el muestreo del suelo fue realizado en forma de zigzag a 30 cm de profundidad, el resultado se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultado de análisis físico – químico del suelo de la parcela experimental

Identificación	Unidad	Parámetros	Interpretación ¹
Textura	Arcilla	%	32
	Limo	%	13
	Arena	%	55
pH			7,6
Conductividad Eléctrica (CE)	$\mu\text{mho cm}^{-1}$		269
Densidad aparente	g cm^{-3}		1,37
Capacidad de campo	%		22,25
Punto marchitez permanente	%		12,12
Agua disponible	%		10,13
Materia orgánica (MO)	%		0,61
Nitrógeno total (N)	%		0,035
Fosforo disponible (P)	ppm		9,7
Potasio intercambiable (K)	meq/100 g		0,87

Nota. ¹Guaygua y Espinoza (2008).

La calidad del suelo de la parcela experimental que muestra la Tabla 1, cuya textura correspondió a franco arcillo arenoso (FYA), con densidad aparente muy suelta, sin embargo, bajos

en capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua disponible, concluyendo que, la condición física del suelo se caracteriza por presentar una permeabilidad y drenaje moderados.

Entretanto, las características químicas del suelo presentan un pH alcalino, una CE no salino, se observa un alto contenido en P, moderado contenido en K intercambiable, muy bajo contenidos en MO y N.

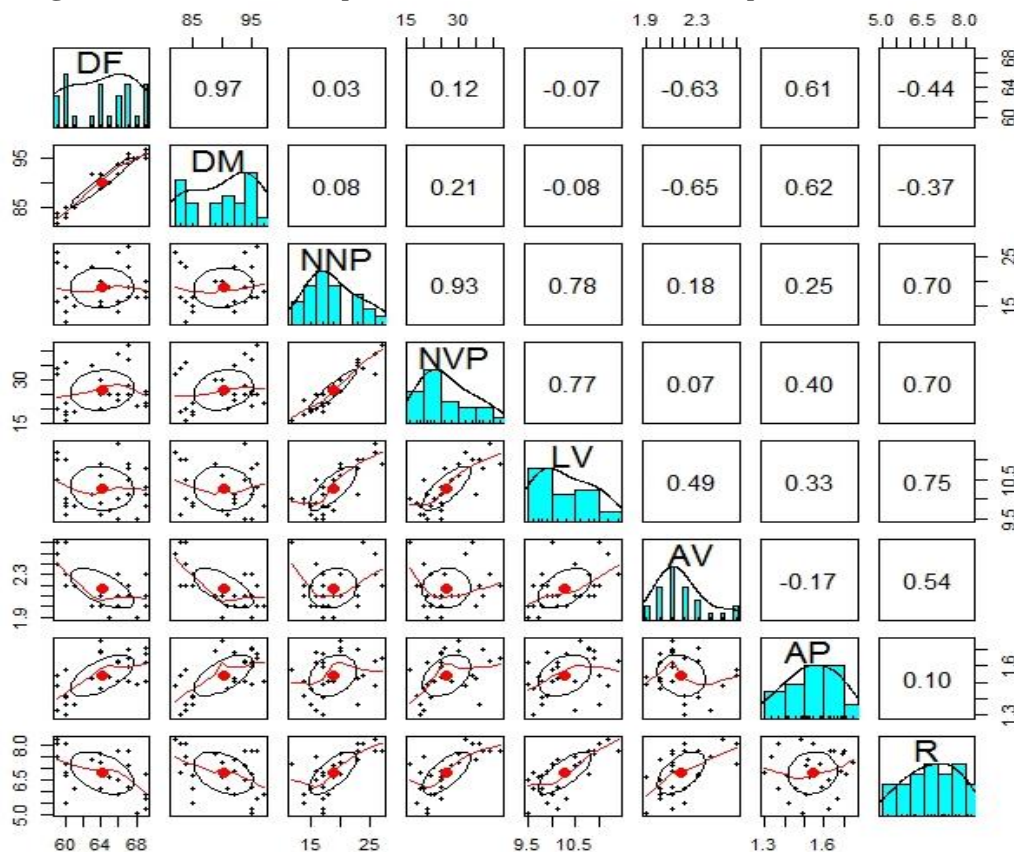
La arveja china requiere suelos francos y franco arenosos, con buen drenaje y permeabilidad, moderadamente tolerante a la acidez, muy sensible a la salinidad y pH óptimo de 5,5 a 6,7 (INIAF, 2015). Asimismo, Maocho (2013) indica que, la arveja china crece en suelos de textura franca, franca arenosa, con buenas condiciones de drenaje. El pH adecuado está comprendido entre 5,6 a 6,8. Es un cultivo que resiste algunos niveles de salinidad. En síntesis, la

arveja china requiere suelos sueltos y aireados. En consecuencia, indicar que el suelo de la parcela experimental, o sea, del Centro de Investigación, Producción y Extensión Agropecuaria (CIPEA) K'enko de la Carrera de Ingeniería Agronómica se consideran aptas para el cultivo de la arveja china.

Correlación entre variables de respuesta

Las variables estudiadas descritas en la Tabla 1 de la sección anterior, que influyen en el rendimiento de las líneas de arveja china, se realizó la correlación de dependencia entre variables, principalmente en el rendimiento, los resultados se muestran en la Figura 4.

Figura 4. Correlaciones pareadas entre variables de respuesta



Nota. La figura muestra la correlación entre variables de respuesta evaluadas DF, días a la floración; DM, días a la maduración; NNP, número de nudos por planta; NVP, número de vainas por planta; LV, longitud de la vaina; AV, ancho de la vaina; AP, altura de planta; R, rendimiento.

El grado de correlación entre dos variables se encuentra entre -1 a 1, donde -1 indica dependencia inversa entre variables, 0 indica nula dependencia y 1 dependencia directa entre variables Heumann & Shalabh (2016).

Conforme a los resultados de la Figura 4, muestra que la variable DF apenas tiene dependencia con tres variables, los DM con 97%, la AV con -63% y AP con 61%, la primera y la tercera indican que ambas variables aumentan proporcionalmente, entre tanto, la segunda indica

que a medida que crece la planta disminuye el número de flores. La variable DM muestra similar escenario que la anterior variable (DF).

La variable NNP, asimismo, la variable NVP muestra similar escenario de dependencia, es decir, aparte de ser dependientes entre sí, también son dependientes con las variables LV y R.

Finalmente, el rendimiento (R) en relación con todas las variables estudiadas, muestran dependencia directa con NNP, NVP, LV, y AV de 70%, 70%, 75% y 54% respectivamente, además, se puede observar que existe leve dependencia inversa con las variables de DF y DM de -44% y -37% respectivamente, lo que indica que, cuando la floración y maduración fueran más tempranas habría mayores rendimientos y, la variable AP según coeficiente de correlación muestra que no influye en el rendimiento con apenas del 10% de influencia.

Descriptores o variables de respuesta

Días a la floración

El análisis de varianza, indica que los días a la floración fueron distintas con al menos uno de los tres métodos de riego ($Pr=0,0040$). En efecto, con el método de riego por goteo las plantas florecieron en 63 días menor tiempo que con el riego por surcos y melgas, con los cuales, las plantas alcanzaron la floración entre 64 y 65 días, respectivamente (Figura 5a).

Flores et al. (2016), en una investigación en el cultivo de arveja, realizada en el departamento de La Paz con riego por goteo, la floración fue en 60 días, menor que con el riego por gravedad que fue de 63 días. Considerando estos resultados, se manifiestan que con el riego por goteo las plantas florecen en menor tiempo y alcanzó mejores rendimientos.

El análisis de varianza para los días a la floración fueron diferentes en al menos una de las tres líneas de arveja china ($Pr<0,0001$). Por cuanto, la línea Pea6 – 3 alcanzó la floración en 60 días, fue menor en 5 días en relación a las dos líneas Pea6 – 1 y línea Pea6 – 2 que fueron de 65 y 68 días, respectivamente (Figura 5b), lo que se atribuye a las características genéticas propias de cada línea y la interacción con el medio ambiente (características climáticas).

El Centro Fitoecogenicas y Semillas de Pairumani (2013 – 2014), en una investigación en dos localidades de Cochabamba, encontró que las líneas Pea6 – 3, línea Pea6 – 1 y línea Pea6 – 2 florecieron entre 49, 52 y 60 días. Estos resultados, se demuestran que la línea Pea6 – 3 muestra menor tiempo a la floración y alcanzo mejor rendimiento. Sin embargo, la diferencia entre las dos zonas de investigación (altiplano y valle), está influida por los factores climáticos que determina el tiempo a la floración, como la temperatura del aire de una zona a otra.

Salgueiro y Hilije (2011), señalan que la duración de la floración varía de acuerdo a las variedades es así que, las variedades enanas inician su floración a los 55 días y tienen una duración de 30 días, entre tanto, las variedades gigantes comienzan su floración a los 60 días y tienen una duración de 50 días, así mismo, la cosecha puede realizarse constantemente y paralela a las duraciones presentadas, como el momento de la floración hasta la cosecha transcurren de 9 a 11 días.

Días a la madurez de la vaina

El análisis de varianza, para días a la madurez de la vaina, indica que no hubo diferencias entre los métodos de riego ($Pr=0,3185$), mostrando que las plantas alcanzaron la maduración en promedio en 90 días (Figura 5c).

Flores et al. (2016) en una investigación realizada en la comunidad Cota Cota (departamento de La Paz), con el riego por goteo la maduración de vaina en arveja fue en 69 días menor tiempo, en comparación con el riego por gravedad en 71 días. Considerando estos resultados, se demuestran que con el riego por goteo se alcanza la madurez en menor tiempo, mejores rendimientos y menor tiempo a la floración.

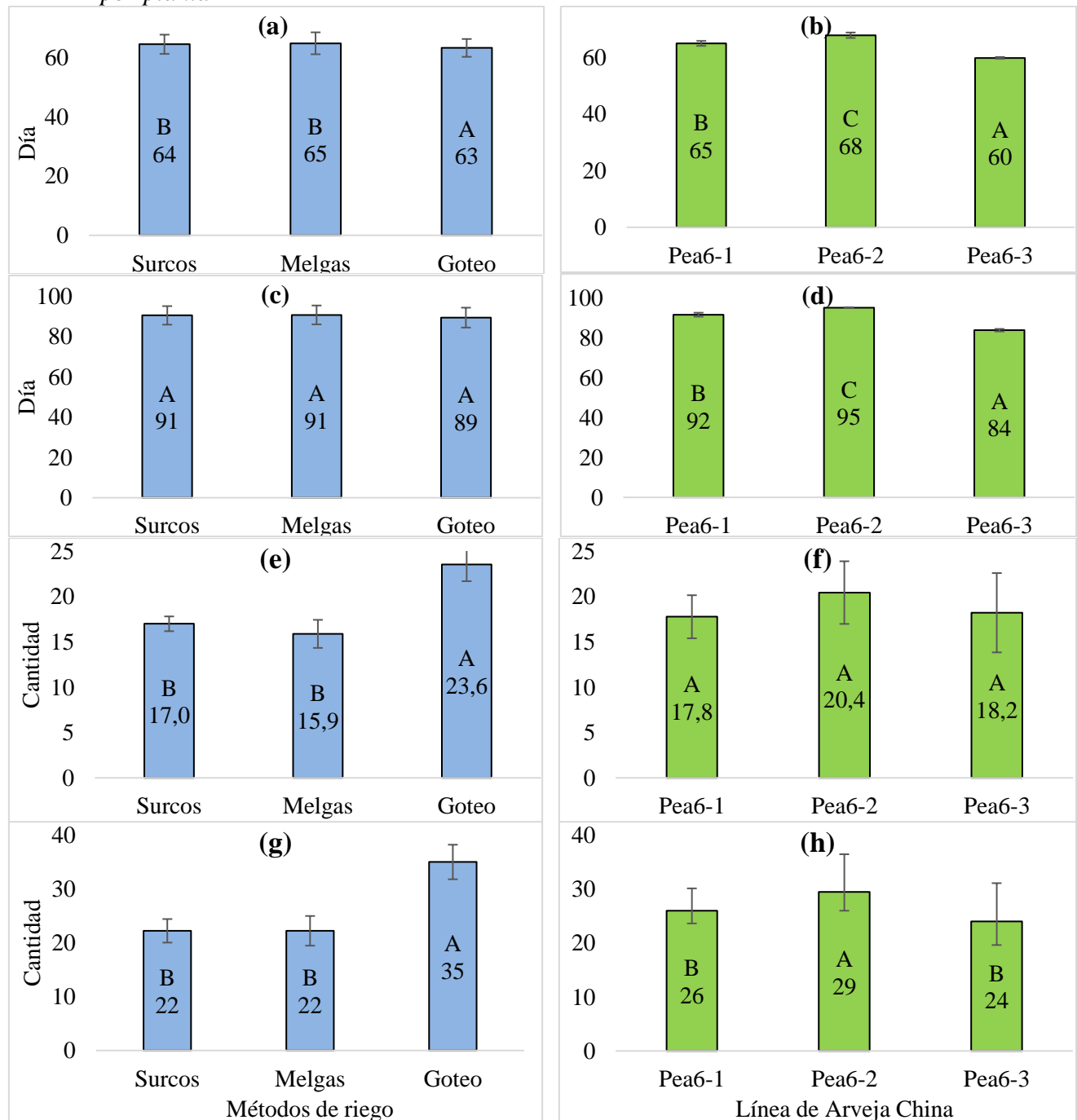
Según el análisis de análisis de varianza, los días a la madurez de la vaina fueron diferentes en al menos una de las tres líneas de arveja china ($Pr<0,0001$). En general, la línea Pea6 – 3 alcanzó la maduración comercial en 84 días y fue 8 días la diferencia entre las líneas Pea6 – 1 y línea Pea6–2 que fueron de 92 y 95 días, respectivamente (Figura 5d), lo cual, indica que las características

genéticas de las líneas se manifiestan de diferente manera en estas variables.

El Centro Fitoecogenicas y Semillas de Pairumani (2018 – 2019), realizó la investigación en el Centro de Ecología Aplicada Santa Cruz, encontró que las líneas Pea6 – 3, línea Pea6 – 1 y línea Pea6 – 2 alcanzaron la maduración de la vaina entre 56, 60 y 61 días. Estos resultados, se

demuestran que la línea Pea6 – 3 obtuvo la maduración de vaina en menor tiempo y mejor rendimiento. Sin embargo, la diferencia entre las dos zonas de investigación (altiplano y oriente), está influida por el medio ambiente que determina el tiempo a la maduración, principalmente, por las características climáticas (variación de temperatura de una zona a otra).

Figura 5. Comparación de medias de métodos de riego y líneas de arveja China (a) y (b) días a la floración, (c) y (d) días a la maduración, (e) y (f) número de nudos por planta, (g) y (h) número de vainas por planta



Número de vainas por planta

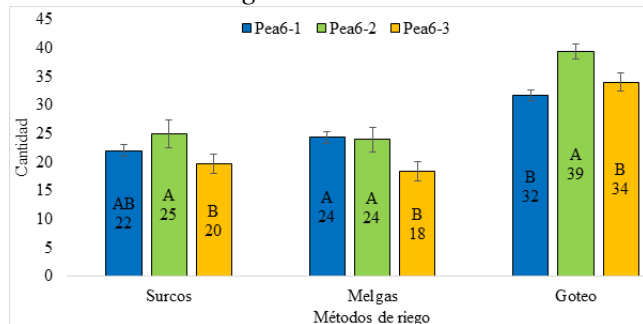
De acuerdo al análisis de varianza para el número de vainas por planta, mostro que hubo diferencias notables con al menos uno de los tres métodos de riego ($Pr=0,0013$), similar escenario muestra en con las líneas de arveja china ($Pr=0,0003$).

En consecuencia, con el método de riego por goteo, las plantas presentaron mayor número de vainas, (35 vainas/planta), que con el riego por surcos y melgas alcanzaron a 22 vainas/planta respectivamente (Figura 5g).

En una investigación realizada por Flores et al. (2016), en cultivo de arveja en la comunidad de Cota Cota (departamento de La Paz), con el riego por goteo se alcanzó 19 vainas/planta superior que con el riego por gravedad que fue de 15 vainas/planta, considerando estos resultados, se demuestran que con el riego por goteo los rendimientos son mejores en vaina verde, menor tiempo a la floración y maduración de vaina y mayor número de vainas por planta.

La línea Pea6-2 alcanzo 29 vainas/planta mayor, en relación a las dos líneas Pea6-1 y línea Pea6-3, con vainas que oscilan entre 26 y 24 vainas/planta, es superior en más 5 vainas respectivamente (Figura 5h), lo que significa, características genéticas propias de cada línea y la interacción con el medio ambiente (características climáticas).

Figura 6. Comparación de medias para el número de vainas/planta para cada línea sobre los métodos de riego



Las líneas de arveja china tienen un comportamiento diferente con cada método de riego. En el método de riego por surcos, la línea Pea6-1 y línea Pea6-2 tienden a alcanzar el mismo número de vainas/planta, de igual manera en el riego por melgas, la línea Pea6-1 y línea Pea6-2

tienden a alcanzar el mismo comportamiento. En el riego por goteo, la línea Pea6-2 alcanza mayor número de vainas/planta según la (Figura 6).

Flores (2005) en su investigación muestra dos variedades de arveja china, donde el mayor número de vainas/planta la obtuvo la variedad Oregon sugar pod II con 17 vainas/planta, respecto a la variedad Macrocarpon con 14 vainas/planta, reportando una diferencia de 3 vainas. Estos resultados, se discrepan a las líneas de arveja china estudiadas son superiores, es decir, la línea Pea6-2 presenta mayor número de vainas/planta, no obstante, la línea Pea6-3, posee otras características sobresalientes como el menor tiempo a la floración y maduración de vaina, con mejores rendimientos en vaina verde.

Longitud de la vaina

Resultado del análisis de varianza de la longitud de vaina, fueron diferentes con al menos uno de los tres métodos de riego ($Pr=0,0025$), asimismo, en las líneas de arveja china ($Pr=0,0031$). En efecto, con el método de riego por goteo las vainas llegaron a medir 10,9 centímetros fueron más largas, que con el riego por melgas y surcos los cuales alcanzaron a medir entre 9,8 y 10,1 centímetros respectivamente (Figura 7a).

En una investigación realizada por Flores et al. (2016) en arveja, con riego por goteo se alcanzó una longitud de vaina de 10,24 centímetros superior que con el riego por gravedad (9,37 cm). Considerando estos resultados, se demuestran que, con el riego por goteo se obtuvo vainas más largas, alcanzo mejores rendimientos, mayor número de vainas/planta y por nudo, menor tiempo a la floración y maduración.

Las vainas más largas alcanzada en esta investigación y en otras con el riego por goteo, es debido a que se puede atribuir a que con este método de riego hay mayor disponibilidad de agua y los riegos fueron aplicados en frecuencia e intervalos de acuerdo a las necesidades del cultivo los cuales han sido uniforme en la zona radicular del cultivo (Vásquez et al., 2008).

Las líneas Pea6-3 y línea Pea6-2 fueron superiores estadísticamente a la línea Pea6-1 (10 cm), con longitudes que oscilan entre 10,3 cm y 10,5 cm, los cuales, representan una superioridad

en más 5 cm respectivamente (Figura 7b), lo que significa que las características genéticas de las líneas se manifiestan de diferente manera en estas variables. Estas informaciones son superiores a lo investigado por el Centro Fitoecogenicas y Semillas de Pairumani (2018 – 2019) en la zona Sipe Sipe – Vinto - Cochabamba, donde encontró que las líneas Pea6–1, línea Pea6–2 y línea Pea6–3, alcanzaron longitudes que oscilan entre 9,74, 9,78 y 9,99 cm. Estos resultados demuestran que la línea Pea6–3 obtuvo vainas largas, menor tiempo a la floración y maduración (comercial) de vaina y alcanzo mejor rendimiento. Sin embargo, la diferencia entre las dos zonas de investigación (Altiplano y Valle), está influida por el medio ambiente, principalmente por las características climáticas (variación de temperatura del aire de una zona a otra).

Nina (2011), indica la longitud de vaina de arveja china, se muestra que entre las líneas existe variabilidad genética para esta característica, observándose que entre todas las líneas, la longitud de vaina difiere entre 5,28 cm a 9,09 cm, asimismo, Sandoval *et al.* (2013), indican dependiendo del cultivar y de su posición en la planta, las vainas pueden contener entre 3 y 10 semillas; su longitud puede variar entre 4 cm y 12 cm y su ancho entre 1 cm y 2 cm, y que la madurez para consumo en verde se logra con un contenido promedio de humedad en los granos de 72 a 74%.

Ancho de la vaina

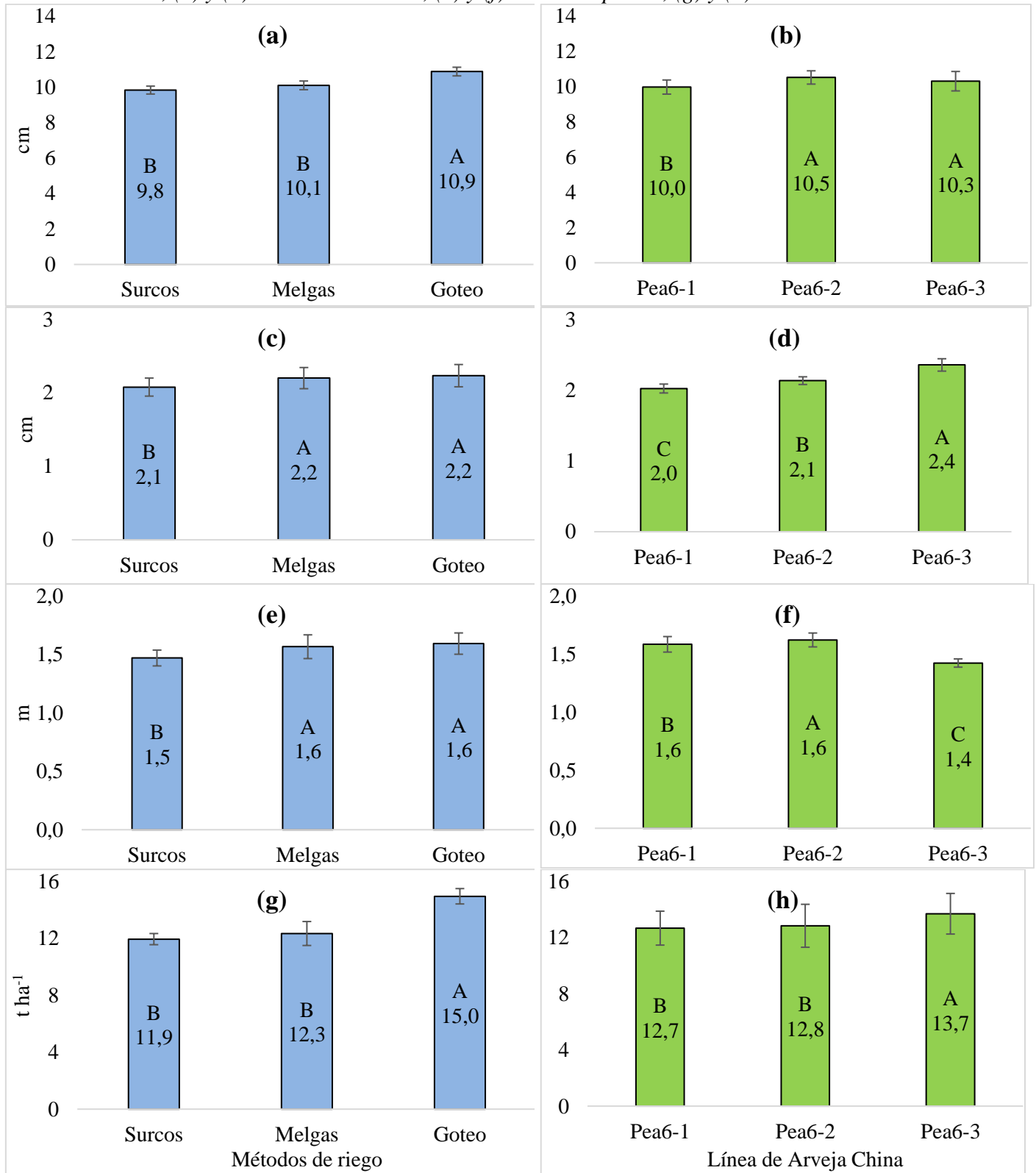
De acuerdo el análisis de varianza para el ancho de vaina, mostró que hubo diferencias notables con al menos uno de los tres métodos de

riego ($Pr < 0,0001$), asimismo, para las líneas de arveja china ($Pr < 0,0001$). En efecto, con el método de riego por goteo y melgas las vainas alcanzaron a medir 2,2 cm mayor que con el riego por surcos, los cuales alcanzaron a medir 2,1 cm respectivamente (Figura 7c). Similar investigación con el riego por goteo en arveja el ancho de vaina fue de 2,38 cm superior que el riego por gravedad (1,65 cm) según Flores et al. (2016). Considerando estos resultados, se demuestran que, con el riego por goteo se obtuvo vainas más anchas y largas y alcanzo mejores rendimientos, mayor número de vainas/planta y nudo, menor tiempo a la floración y maduración (comercial) de vaina verde.

En tanto, la línea Pea6–3 relevó vainas más anchas de 2,4 cm, que las dos líneas que oscilan entre 2,0 cm y 2,1 cm, es superior en más de 4 mm según la (Figura 7d), lo cual indica que, las características genéticas de las líneas se manifiestan de diferente manera en esta variable.

El Centro Fitoecogenicas y Semillas de Pairumani (2018 – 2019), realizó la investigación en la zona de Totora - Cochabamba, encontró las líneas Pea6 – 1, línea Pea6–2 y línea Pea6–3, con vainas que oscilan entre 2,13; 2,14 y 2,24 cm. Estos resultados, se demuestran que la línea Pea6–3 obtuvo vainas más anchas y largas, menor tiempo a la floración y maduración de vaina verde y alcanzo mejor rendimiento. Sin embargo, la diferencia entre las dos zonas de investigación (Altiplano y Valles), está influida por el medio ambiente, principalmente por las características climáticas (variación de temperatura de una zona a otra).

Figura 7. Comparación de medias de métodos de riego y líneas de arveja China (a) y (b) longitud de la vaina, (c) y (d) ancho de la vaina, (e) y (f) altura de planta, (g) y (h) rendimiento



Altura de planta

Según el análisis de varianza la altura planta fue distinta con al menos uno de los tres métodos de

riego (Pr=0,0068). Por cuanto, con el método de riego por goteo las plantas alcanzaron a medir 1,69 m, mayor que con el riego por melgas y surcos los cuales alcanzaron a medir entre 1,47 m

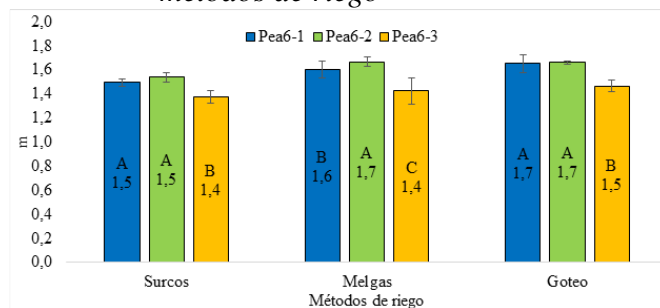
y 1,57 m de altura de planta respectivamente (Figura 7e).

Asimismo, el análisis de varianza para la altura planta mostró que hubo diferencias notables en al menos una de las tres líneas de arveja china ($Pr < 0.0001$); sin embargo, estas diferencias fueron diferentes con cada método de riego ($Pr = 0.0069$), donde existe diferencias significativas en la interacción.

Nina (2011), menciona que, la altura planta fue distinta entre las líneas y difiere entre 0,33 m a 1,05 m, se pueden agrupar en dos categorías: de altura mediana entre 0,30 m a 0,50 m y de alturas altas mayor a 0,50 m. Sandoval *et al.* (2013) mencionan que el tallo principal llega a alcanzar en definitiva una longitud de 0,50 a 0,75 m en los cultivares precoces y de 0,80 a 1,20 m en los cultivares semitardíos.

La línea Pea6–2, alcanzó una altura de 1,62 metros superior a las dos líneas Pea6 – 3 y línea Pea6 – 1 que alcanzaron alturas que oscilan entre 1,43 y 1,58 metros según la (Figura 7f), lo que significa, características genéticas propias de cada línea y la interacción con el medio ambiente (características climáticas).

Figura 8. Comparación de medias para altura planta para cada línea sobre los métodos de riego



Las líneas de arveja china tienen un comportamiento diferente con cada método de riego. En el método de riego por surcos, la línea Pea6-1 y línea Pea6–2 tienden a alcanzar la misma altura planta. En el riego por melgas, la línea Pea6-2 alcanzó mayor tamaño de altura planta que las dos líneas Pea6–3 y línea Pea6–1. En el riego por goteo, las líneas Pea6–1 y línea Pea6–2 tienden a alcanzar la misma altura planta según la (Figura 8).

Nina (2012), indica que las líneas de arveja china desarrollan plantas de altura que oscilan

entre 0,33 m a 1,05 m en el Centro de Investigación Fitotécnica Pairumani Cochabamba. Estos resultados, se demuestran que las líneas de arveja china evaluadas en la investigación son superiores. Considerando esta característica la línea Pea6–2 alcanzó mayor altura planta, pero la línea Pea6–3 posee otras características sobresalientes menor tiempo a la floración y maduración de la vaina, y con mejor rendimiento en vaina verde, vainas largas y anchas de color verde brillante y plana alargada.

Rendimiento

El análisis de varianza para el rendimiento en vaina verde, muestra diferencias con al menos uno de los tres métodos de riego ($Pr = 0,0099$). En efecto, con el método de riego por goteo se alcanzó un rendimiento de 15,0 t ha⁻¹ que fue superior a los riegos por melgas y surcos que tuvieron un rendimiento de 12,3 y 11,9 t ha⁻¹ respectivamente (Figura 7g).

Los rendimientos altos, alcanzado en esta investigación y en otras con riego por goteo, se puede atribuir a que con este método de riego hay mayor disponibilidad de agua, es decir, el suelo se mantiene a capacidad de campo conforme a las necesidades del cultivo, los cuales, han sido uniforme en la zona radicular del cultivo (Vásquez *et al.*, 2008), lo cual no ocurre en el riego por surcos y melgas.

Similarmente, el rendimiento en vaina verde fue diferente en al menos una de las tres líneas de arveja china ($Pr = 0,0389$). Según la Figura 7(h) la línea Pea6–3 alcanzó el mejor rendimiento con 13,7 t ha⁻¹, en relación a las otras líneas, Pea6–2 y línea Pea6–1 (12,8 y 12,7 t ha⁻¹, respectivamente), lo que significa, que el comportamiento de las diferentes líneas de arveja china responde de manera diferente a las características del medio ambientales.

El Centro Fitoecogenicas y Semillas de Pairumani (2018 – 2019), en una investigación en dos localidades de Cochabamba, encontró que las líneas Pea6–3, Pea6–2 y Pea6–1 alcanzaron rendimientos en vaina verde de 6,04 t ha⁻¹, 7,44 t ha⁻¹ y 7,06 t ha⁻¹. Estos resultados, sede muestran que las tres líneas (Pea6–1 y Pea6–2 y Pea6–3) evaluadas son superiores en rendimiento

esto significa que las características genéticas de las líneas están influenciadas por el medio ambiente.

Ensayos de arveja china realizados por UNA (2011), obtuvieron rendimientos que fluctúan entre 3,0 t ha⁻¹ a 8,0 t ha⁻¹, asimismo, investigación de arveja china implantada por Córdova (2017), indica obtuvieron rendimientos que fluctúan entre 2,77 t ha⁻¹ a 6,38 t ha⁻¹. Lo que también Espinosa (2013) menciona que, la producción de arveja china en los valles de Cochabamba de distintos lugares se obtuvieron rendimientos 2,89 t ha⁻¹.

Contenido de endocarpio

El contenido de endocarpio fue lo mismo entre las tres líneas de arveja china, lo cual significa que no existe la variabilidad genética para esta característica.

En relación, con referente a esta variable Myers et al. (2001), las vainas completamente sin endocarpio son las de mayor preferencia. Considerando esta característica, además, vainas más largas, anchas y rendimientos más elevados la línea Pea6-3 es apropiada.

Color de la vaina

Figura 9. Color de vainas de las tres líneas (Línea Pea6-1, línea Pea6-2 y línea Pea6-3) en (a) riego por goteo, (b) riego por melgas y (c) riego por surcos



(a) Vainas de las líneas (Línea Pea6-1, línea Pea6-2 y línea Pea6-3) en riego por goteo

Las tres líneas evaluadas en diferentes métodos de riego (Figura 9a, 9b y 9c), por color de vaina inmadura variaron entre, verde y verde brillante. Entre las tres líneas de arveja china, dos líneas (Línea Pea6-1 y línea Pea6-2) presentaron vaina de color verde y una línea (Línea Pea6-3) con vainas de color verde brillante. En el Centro de Investigación Fitotécnica Pairumani (2011) 456 líneas de arveja china evaluadas y desarrolladas en, las vainas presentaron colores variados entre, verde claro, verde, verde brillante y verde oscuro.

Según Linares (2008), para los mercados de exportación, las vainas deben presentar un color verde brillante o verde, por ser de mayor atractivo para el consumidor. Tomando en cuenta esta necesidad, la línea Pea6-3 con vaina verde brillante y dos líneas (Línea Pea6-1 y línea Pea6-2) con vaina verde, serían las deseadas para satisfacer al consumidor, no solamente presentan el color deseado, sino también un buen tamaño de vaina (ancho y largo), rendimiento elevado y con ausencia de endocarpio.



(b) Vainas de las líneas (Línea Pea6-1, línea Pea6-2 y línea Pea6-3) en riego por melgas



(c) Vainas de las líneas (Línea Pea6-1, línea Pea6-2 y línea Pea6-3) en riego por surcos

Conclusiones

Las líneas de arveja china manifiesta mejor respuesta en condiciones agroecológicas de la región del altiplano, específicamente, en el municipio de Llallagua de la región del Norte Potosí, situadas a altitudes de 3802 msnm, donde las condiciones de temperatura del aire son inferiores a otras zonas agroecológicas del valle (Cochabamba a 2500 msnm), se lograron rendimientos óptimos de hasta 13,7 t ha⁻¹ con la línea Pea6-3, los resultados logrados están condicionadas a la humedad del suelo, es decir, cuando el suelo se encuentre a capacidad de campo se logran óptimos rendimientos.

Sin embargo, en esta región del altiplano, el tiempo a la floración y maduración es mayor a la de la zona de los valles, como la línea Pea6-3 floreció a los 60 días y las vainas maduró en 84 días, siendo estos descriptores inversamente

proporcionales al rendimiento, o sea, cuando menor fuera los días a la floración y maduración mejor serían los rendimientos, sin embargo, estos descriptores no son determinantes, cuyos coeficientes de correlación apenas llegaron a 44% y 37% respectivamente.

Las variables de número de nudos por planta, número de vainas por planta, longitud de vainas y ancho de las vainas muestran ser influyentes directos en el rendimiento en 70%, 70%, 75% y 54% respectivamente, o sea, cuanto mayor estas variables, mejor son los rendimientos, ejemplo, la variedad Pea6-3 reportó 18 nudos por planta, 24 vainas por planta, 10,3 cm de longitud de vaina y 2,4 cm de ancho de vaina y de color verde brillante.

El método de riego que contribuye a la mayor y mejor expresión de las características genéticas de las diferentes líneas de arveja china es el riego localizado o riego por goteo,

considerado el más apropiado para su cultivo por su mayor influencia en los rendimientos de vaina verde con 15 t ha⁻¹, sin embargo, los tiempos a la floración y maduración son más largas de 63 días y 89 días respectivamente, en comparación con la zona de los valles, no obstante, con mayor número de vainas por planta (35 vainas/planta), presento vainas largas de 10,3 cm y anchas de 2,3 cm con una altura planta de 1,59 m.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Dr. Melicio M. Siles Cano, investigador del Centro de Investigación Fitotécnicas Pairumani, Cochabamba, Bolivia, por el asesoramiento y provisión de semilla de líneas de arveja china certificada. A la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional “Siglo XX”, por encaminar y asesorar la investigación en el Centro de Investigación, Producción y Extensión Agropecuaria – K’enko (CIPEA-K’enko) de la ciudad de LLallagua, Potosí, Bolivia.

Referencias Bibliográficas

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO, Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56.
- Calderón, L., Dardón, D., Márquez, J. y Cid M. (2012). *Manejo Integrado de Arveja China (Pisum sativum var.)*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (1a Ed.). Guatemala.
- Centro Fitoecogenicas y Semillas de Pairumani. (2013 – 2014). *Mejoramiento de arveja china sin endocarpio*. Informe de actividades.
- Centro Fitoecogenicas y Semillas de Pairumani. (2018 – 2019). *Mejoramiento de arveja china sin endocarpio*. Informe de actividades.
- Cerna L. y Mejía T. (2018). *Aplicación de tres láminas de riego localizado y riego por gravedad para optimizar el rendimiento del haba (vicia faba l.) en el CIE-UNASAM*. [Tesis de grado Ing. Agr. Perú Cañasbamba, FCA-UNSAM]. http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4466/T033_46398450_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CIFP. (2001). *Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas Pairumani*. Cochabamba, Bolivia.
- CIFP. (2010). *Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas Pairumani*. Cochabamba, Bolivia.
- CONABIO, MX. (2009). *Catálogo taxonómico de especies de México*. Capital México.
- Espinosa Chura, O. (2013). *Comportamiento Agronómico de cuatro Variedades de Arveja con dos densidades de siembra Collpa Ciaco Araní*. [Tesis de grado Ing. Agr. Cochabamba Bolivia, FCAPF-UMSS].
- FAOSTAT. (2008). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Anuario – Producción*. Roma, Italia.
- Fernández, R., Milla, M., Ávila, R., Berengena, J., Gavilán, P. y Oyonarte, N. (2010). *Manual de Riego para Agricultores Riego por Superficie*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Sevilla, España.
- Flores Llantoy, S. (2005). *Campaña de Cultivo de Holantao*. Ayacucho-Perú.
- Flores M., Murillo W., Mena F. y Nina L. (2016). *Evaluación en la producción de dos variedades y líneas de arveja china con tres concentraciones de fertilizante foliar orgánica y efecto riego bajo por goteo y por gravedad*. [Tesis de grado. UMSA-FA].
- González G., M.R. (2001). *Interacción Genotipo por Ambiente en guisante proteaginoso (Pisum sativum L.)* E.T.S.S. Ingenierías Agrarias, España.
- Guaygua, G. E. y Espinoza D. R. (2008). *Muestreo de suelos e interpretación de resultados de laboratorio*. Fundación CETABOL (Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia). Santa Cruz, Bolivia. Disponible en <http://www.cetabol.bo/sitio/index.php/suelos/area-de-suelos>.

- Heumann C & Shalabh M. S. (2016). *Introduction to Statistics and Data Analysis: With Exercises, Solutions and Applications in R*. Springer International Publishing Switzerland.
- INIAF. (2015). *Manual de producción de semilla certificada de Arveja. Asistencia Técnica semillera*. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, Bolivia.
- MAGADR/UE (2000). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural/Unión Europea. Proyecto SINSAT, *Estadística Agropecuaria Bol.* 1(1):15 - 271.
- Maocho, F. (2013). *Cultivo de guisantes*. (En línea):<https://felixmaocho.wordpress.com/2013/09/01/huerto-familiar-cultivo-de-guisantes>
- Márquez SF. (1985). *Genotecnia Vegetal: Teoría y resultados*. Tomo 1 México D.F. AGT-Editor; 1-5.
- Myers, J.R., Baggett, C. L. (2001). Origin, history, and genetic improvement of the snap pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Breed. Rev.* 21:93-138.
- Nina Quispe, L. (2011). *Evaluación de 456 Líneas de Arveja China por características requeridas por el mercado de exportación*. [Tesis de Licenciatura, Ing. Agr. Cochabamba Bolivia, FCAPF- UMSS].
- Ramírez, G. (2012). *Legumbre imperial*. Artículo Prensa libre.
- Salgueiro V., Hilije, L. (2011). Técnicas del manejo Integrado de Plagas de mosca blanca. Proyecto IPM-ICTA-CATIE.
- Sandoval, J., Calderón, L., Sanchez, G. y Sellar, S. (2013). Prácticas de Manejo Integrado en los cultivos de Arveja China y dulce en Guatemala. *Revista Agricultura*, 1(4). Guatemala, 53 – 56.
- SICA/MAG. (2001). *Agronegocios. Arveja China*.
http://www.sica.gov.ec/agronegocios/arveja%20china/arveja_mag.pdf
- Siles, M. (2019). *Centro Investigación Fitotécnica Pairumani (CIFP) - Cochabamba Bolivia*.
- Stephen C. Weller. (1994). *Vegetable Crops Management, Department of Horticulture, Purdue University, USA*.
- UNA. (2011). *Programa de hortalizas*. Universidad Nacional, Costa RICA. La Molina.
- Vásquez A. (2017). *Fundamentos de la Ingeniería de riegos*. Lima: Universidad agraria la molina.
- Vázquez-Gálvez, R., Cárdenas-Navarro y Lobit P. (2008). Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de la fresa regada por goteo y gravedad. *Agricultura Técnica de México*. 34: 235-241.

Efecto del Ácido Indol Butírico en la multiplicación vegetativa del Cedrón (*Aloysia triphylla* L'Herit.) en ambiente controlado

Fidel Inocente Pari¹, Jorge Saavedra Villalobos²

¹Tesista de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional "Siglo XX"

²Docente Dasonomía y Fruticultura, Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional "Siglo XX"

Resumen

El objetivo en la investigación fue determinar la concentración más óptima del ácido indol butírico (hormona enraizadora) y la sección más adecuada de la rama en la propagación de plantines de cedrón. Las concentraciones utilizadas de ácido indol butírico (AIB) fueron (250, 500, 750 y 1.000 ppm), y un testigo (0) aplicados a diferentes secciones de la rama (basal, media y apical). Con variables de respuesta como: días al enraizamiento y rebrote, tamaño de las raíces, número de raíces, tamaño de brotes, número de yemas, número de hojas y número de esquejes prendidos, en un diseño de bloques completamente al azar con un arreglo en parcelas divididas. Las concentraciones del AIB, aplicados a los esquejes, no tuvieron un efecto significativo. La sección más adecuada fue la apical con 92% de esquejes prendidos por unidad experimental, y la sección basal con 69 hojas por planta para producción de biomasa. La evaluación económica determinó que la concentración 250 ppm de AIB y sección apical se obtuvo mayor Tasa de Retorno Marginal (TRM) 418,96%, es decir, por cada Bs 1 invertido se recibió Bs 4,19 resultando ser factible económicamente frente a los demás tratamientos.

Palabras clave: hierva maría, esquejes, enraizantes químicos, propagación vegetativa.

Effect of Butyric Indole Acid in the Vegetative Multiplication of Kidron (*Aloysia Triphylla* L'Herit.) In a Controlled Environment

Inocente Pari, F., Saavedra Villalobos, J.

Abstract

The objective of the research was to determine the most optimal concentration of indole butyric acid (rooting hormone) and the most appropriate section of the branch in the propagation of lemon verbena seedlings. The concentrations of indole butyric acid (IBA) used were (250, 500, 750 and 1,000 ppm), and a control (0) applied to different sections of the branch (basal, middle and apical). With response variables such as: days to rooting and regrowth, root size, number of roots, shoot size, number of buds, number of leaves and number of attached cuttings, in a completely randomized block design with an arrangement in divided plots. The concentrations of IBA, applied to the cuttings, did not have a significant effect. The most suitable section was the apical with 92% of cuttings attached per experimental unit, and the basal section with 69 leaves per plant for biomass production. The economic evaluation determined that the concentration of 250 ppm of IBA and apical section obtained a higher Marginal Rate of Return (TRM) 418.96%, which is, for each Bs 1 invested, Bs 4.19 was received, proving to be economically feasible compared to the other treatments.

Keywords: Marian grass, cuttings, chemical rooters, vegetative propagation

Introducción

El consumo de productos naturales a nivel local, nacional e internacional se acrecentó notablemente por el uso múltiple que tienen las diferentes especies nativas, como la; muña (*Minthostachys mollis*), chacatea (*Dodonaea viscosa* L. Jacq), etc., Uno de estos productos naturales en demanda, es la planta del cedrón (*Aloysia triphylla* L'Herit), por sus cualidades medicinales, digestivas, aperitivo y tónico.

La demanda creciente del cedrón. Provocó que los pobladores rurales recolecten estas especies nativas, como medio de ingreso económico, derivando en la reducción poblacional, provocando la degradación del ecosistema. Teniendo que intervenir con planes de repoblamiento con esta especie que no existía. Por lo que, se recurrió a la biotecnología, y conocimientos de la fisiología del vegetal, con la utilización de hormonas que aceleran algunos procesos que son morosos para la multiplicación vegetativa. Se utilizó el AIB, por ser una auxina coadyuvante en la multiplicación vegetativa y la formación de raíces adventicias, incrementar la capacidad de enraizado y participar en la multiplicación de las células, lo que acelera el tiempo de enraizamiento y brotación de las yemas. Para ésta finalidad, fue necesario contar con una técnica de propagación para la especie *Aloysia triphylla* L'Herit, lo que en muchos casos es desconocida, o no está al alcance de los comunarios, fenómeno que provoco este problema. Por eso fue importante realizar esta investigación que permitió solucionar el problema planteado cuyo objetivo fue de Determinar el efecto de la concentración más óptima del ácido indol butírico y la sección más adecuada de la rama, en la multiplicación vegetativa del cedrón (*Aloysia triphylla* L'Herit), en ambiente controlado para la Asociación de Productores de Hierbas y Mates (APROHIMA).

El cedrón es nativo de Sudamérica, crece de forma silvestre en Bolivia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina, Paraguay, Uruguay, Río Grande del Sur (Brasil) y México, en Europa puede cultivarse en regiones templadas. (Micol, V. 2011). Las plantas medicinales se multiplican por semillas; excepto el cedrón, debido a su escaso o

nulo poder germinativo que tiene la especie. (Bandoni, A. 2000).

La reproducción asexual se logra empleando partes vegetativas de la planta original. Esto es posible porque cada célula de la planta contiene la información genética necesaria para generar una planta entera (Cueva, J. 2007). Es necesario que se forme un nuevo sistema de raíces adventicias, ya que existe un sistema caulinar en potencia. La temperatura adecuada para la rizogénesis es generalmente en torno a 18°C para especies con menos requerimiento y, hasta 27°C para otras especies. Una diferencia de temperatura entre el suelo y la atmosfera favorece la rizogénesis cuando es más alta en el suelo, ya que se activa la formación de raíces antes que la de brotes. (Ardaya, G. 2011).

En la rizogénesis influye de forma determinante diversos factores: genéticos, fisiológicos, sanitarios y ambientales. (Pina, A. 2008). Todos ellos deben ser optimizados para un enraizamiento exitoso, la minimización del estrés hídrico en las estacas es considerada como el punto fundamental en el proceso de enraizamiento. (Murrieta, C. 2010). El microclima del propagador tiene una gran influencia sobre el enraizamiento de las estacas. Puede ocurrir una variabilidad en el enraizamiento e incluso el fracaso completo si las condiciones ambientales no son controladas adecuadamente durante la propagación. Y debe mantener un balance hídrico en las estacas (Murrieta, C. 2010).

El AIB es la auxina sintética más utilizada y más eficiente para promover el enraizamiento de estacas, siendo efectivo para un gran número de plantas. Principalmente, aquellos que presentan dificultad en emitir raíces. (Dutra, F. *et al.*, 1999). El AIB es un fito regulador auxínico sintético comúnmente utilizado por su estabilidad, ya que es muy resistente a la oxidación por la luz, enzimas u otros agentes (Azcón-Bieto, M. 2000).

Materiales y Métodos

Material vegetal

El material genético utilizado en la investigación fueron diferentes secciones de la rama, la recolección se realizó de las comunidades Aziruri, Kila Kila, Vilasirka y Colloma, de la

provincia Alonso de Ibáñez, el corte se realizó a una distancia de 2 cm. entre el cuello de la rama principal.

La investigación se desarrolló en un invernadero de propagación vegetativa equipado con un sistema de riego por nebulización.

Diseño experimental

El análisis estadístico de los resultados se hizo en el diseño de bloques completamente al azar con un arreglo en parcelas divididas. Para este fin, son nombrados como tratamientos al ácido indol butírico a 4 concentraciones y un testigo (0, 250, 500, 750 y 1.000 ppm), y como subtratamiento las secciones de la rama (basal, media y apical).

Tabla 1. Tratamiento (Parcela) niveles de concentración de AIB

Concentraciones	Niveles de AIB
C0	0
C1	250
C2	500
C3	750
C4	1000

Tabla 2. Sub tratamiento (Sub parcela) secciones de la rama 20 cm de tamaño esqueje

Secciones de la rama	Tamaño esquejes	Diametro de esquejes(mm)
S1 (Basal)	20	9 a 10
S2 (Media)	20	8 a 9
S3(Apical)	20	7 a 8

Análisis económico

El análisis económico del presente trabajo de investigación se realizó a través de presupuestos parciales siguiendo la metodología de Perrín, R. *et. al.* (1988).

Tabla 3. Análisis de Dominancia

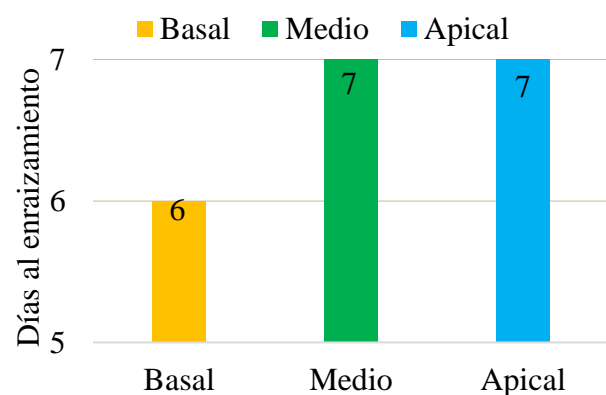
tratamiento	C.V.	B/N	Dominancia
C0 S3	92,17	423,8	No Dominado
C0 S2	97,36	332,17	Dominado
C1 S2	106,32	338,15	Dominado
C1 S3	108,94	494,06	No Dominado
C2 S3	114,64	442,64	Dominado
C2 S2	115,28	321,72	Dominado
C0 S1	119,42	310,11	Dominado
C3 S3	123,60	433,68	Dominado
C1 S1	128,38	286,21	Dominado
C4 S3	132,56	348,63	Dominado
C3 S2	134,84	418,12	Dominado
C4 S2	134,84	418,12	Dominado
C2 S1	139,89	337,74	Dominado
C3 S1	146,30	268,29	Dominado
C4 S1	155,26	289,21	Dominado

Resultados y Discusion

Días de enraizamiento por secciones

De acuerdo al ANVA (análisis de varianza) para enraizamiento entre bloques, concentraciones y la interacción concentración por sección, no existen diferencias estadísticamente significativas, en cambio entre las secciones de rama, si existen diferencias significativas al 5% de probabilidad, lo cual, nos indica una diferencia entre secciones basal y apical para la presente variable de estudio.

Figura 1. Enraizamiento de los esquejes en las secciones de la rama



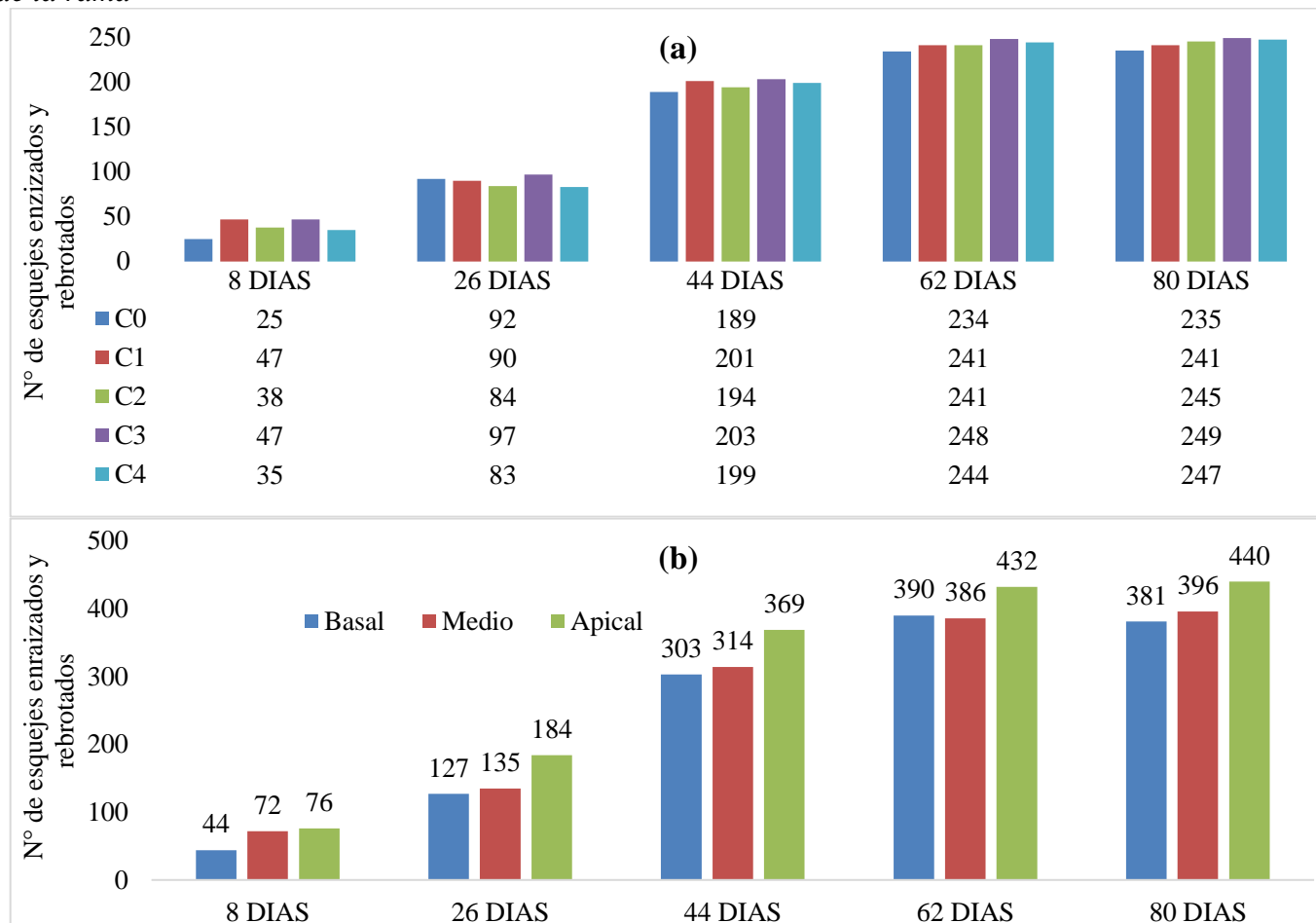
La prueba de Duncan al 5% para los días de enraizamiento (Figura 1), identificó que la secciones S3-Apical y S2-Media, inició el

enraizamiento, a los 7 días, y las secciones S1-Basal a los 6 días, siendo diferentes estadísticamente las dos anteriores.

Rebrotamiento y niveles de AIB

Esta variable fue evaluada, realizando el conteo de los esquejes rebrotados desde el inicio a los 8 días del rebrote hasta su finalización a los 80 días, en las diferentes concentraciones de AIB (ppm) y tres secciones (basal, media y apical).

Figura 2. Días al rebrotamiento (a) De los esquejes en niveles de concentración de AIB (b) en secciones de la rama



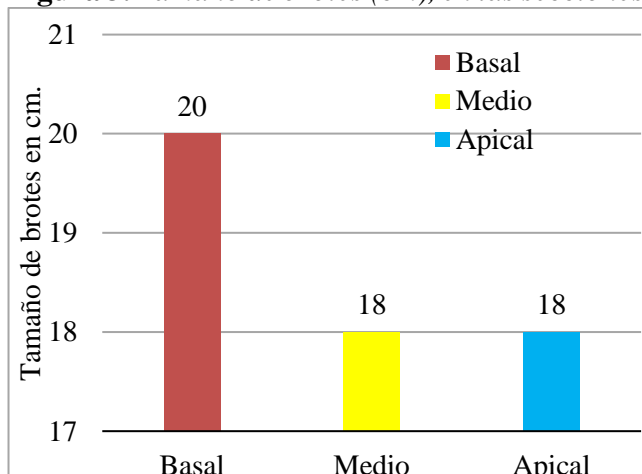
La Figura 2(a) muestra que el rebrotamiento inicia con bajas cantidades rebrotados a los 8 días luego del implante del ensayo, con 25 esquejes la concentración C0 (testigo), la concentración C1 y C3 con 47 esquejes rebrotados, llegando a su plenitud a los 80 días, donde alcanzó un promedio de 243 esquejes por tratamiento, mostrando una baja variabilidad de rebrote entre concentraciones de AIB, respecto del testigo, lo cual, puede deberse a las condiciones ambientales que son homogéneas para todos los tratamientos.

La Figura 2(b) indica las cantidades obtenidas para las secciones de la rama a los 80 días de rebrotamiento, resaltando la sección apical con mayor rebrotamiento con 440 esquejes, seguido por la sección media con 396 y por último la sección basal con 381 esquejes rebrotados. Al respecto (Divo de Sesar, M. 2005). Afirma que, la velocidad de rebrotamiento es mayor en las estacas semi leñosas, ya que a las 3 semanas se observó el 45% de enraizamiento, mientras las estacas leñosas sólo comenzaron a partir de la cuarta semana, los porcentajes de enraizamiento fueron elevados en ambas experiencias.

Tamaño de brotes por esqueje

Según el análisis de varianza para el tamaño de brotes por esqueje, no existen diferencias estadísticas entre bloques, concentraciones y la interacción concentración por sección, pero si para secciones de la rama, existen diferencias significativas al 5% de probabilidad estadística, lo que demuestra la variabilidad entre secciones.

Figura 3. *Tamaño de brotes (cm), en las secciones*



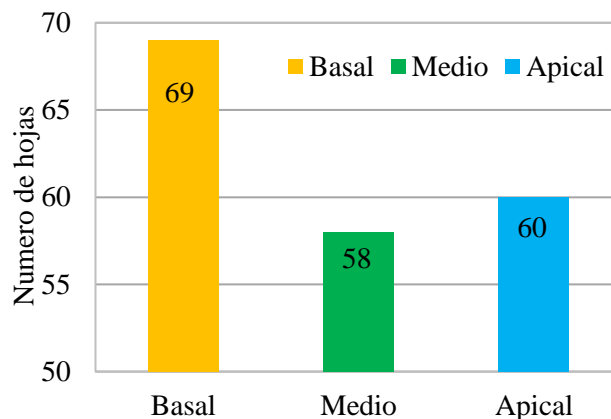
La prueba Duncan al 5% (Figura 3), identificó dos grupos, donde la sección S1-Basal, alcanzó mayor tamaño de brotes, con 20 cm por esqueje, seguido por las secciones S2-Media, S3-Apical, con 18 cm por esqueje. Al respecto Oyanadel, R. (2002) obtuvo resultados mejores con concentraciones de 500 y 750 ppm del AIB.

Número de hojas por esqueje

En el ANVA para esta variable muestra que solo existen diferencias estadísticas altamente significativas entre las secciones, para una probabilidad del 1%, lo que demuestra las secciones influyen en la diferencia de esta variable a prueba de Duncan al nivel de 5% de significancia (Figura 4), muestra que la sección S1-Basal, alcanzó el mayor número de hojas, con 69 hojas por esqueje, seguida las secciones S2-Media y S3-Apical con 58 y 60 hojas/ esqueje respectivamente, siendo diferentes a la sección S1-Basal. La variabilidad en número de hojas por esqueje se debió a las características específicas

de cada sección y condiciones micro climáticas presentes en el invernadero.

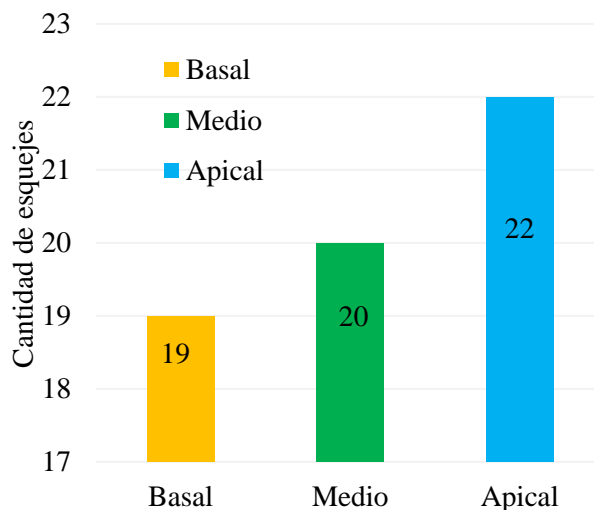
Figura 4. *Número de hojas por planta, en las secciones.*



Número de esquejes prendidos

Los datos obtenidos del ANVA, para el variable número de esquejes prendidos, mostró que no existe significancia para repeticiones, concentraciones y la interacción concentración por sección. Habiendo alta significancia entre secciones al 1% de probabilidad estadística, esto indica que el prendimiento de los esquejes es diferente en las distintas secciones de la rama.

Figura 5. *Número de esquejes prendidos en las secciones.*



Según Duncan al 5% de probabilidad estadística (Figura 5), identificó S3-Apical con mayor número de esquejes prendidos con 22 esquejes por unidad experimental. Seguida por

S1-Basal, S2-Media con 19 y 20 esquejes, prendidos por unidad experimental, siendo diferentes a la sección S1-Basal. Al respecto (Oyanadel, R. 2002). Obtuvo los mejores resultados a concentraciones bajas de AIB (125 y 250 ppm).

Porcentaje de prendimiento de los esquejes

Tabla 4. Número total de esquejes enraizados y porcentaje de prendimiento

Tratamiento	Total esquejes	plantas enraizadas	Porcentaje de prendimiento
C0 S1	1440	75	79
C0 S2	1440	75	79
C0 S3	1440	85	88
C1 S1	1440	74	79
C1 S2	1440	77	79
C1 S3	1440	90	96
C2 S1	1440	81	83
C2 S2	1440	76	79
C2 S3	1440	88	92
C3 S1	1440	74	79
C3 S2	1440	87	92
C3 S3	1440	88	92
C4 S1	1440	77	79
C4 S2	1440	81	83
C4 S3	1440	89	92

La Tabla 4 muestra que, la mayor cantidad de prendimiento fue del tratamiento C1S3 (concentración 250 ppm sección apical) con 96% de prendimiento, el porcentaje mínimo pertenece al tratamiento C1S1 y C3S1 (concentración 250 ppm sección basal y 750 ppm sección basal) con 79%, y los demás tratamientos están en el intermedio de los datos citados.

Conclusiones

- ✓ El enraizamiento inicia a los siete días, alcanzando su pleno enraizamiento hasta los 30 días, con la aplicación de ácido indol butírico (AIB fitohormona).
- ✓ El brotamiento inicia a los ocho días con 13%, a los 44 días 68% y a los 80 días con 84,5% de brotamiento, en diferentes secciones de las ramas.
- ✓ El enraizamiento se tiene una correlación inversa con la concentración del ácido indol

butírico (AIB fitohormona) habiéndose obtenido mayores números de raíces con las concentraciones de 250 y 500 ppm respectivamente.

- ✓ La sección más adecuada para la multiplicación vegetativa del cedrón, fue la apical con 92% de prendimiento, y en cuanto a la producción de biomasa la más adecuada es la sección basal con 69 hojas por planta.
- ✓ El mayor el porcentaje de prendimiento se obtuvo con la concentración C3 (750 ppm) con 249 platines prendidos seguido de la C4, C2, C1 y C0 (testigo), con 247, 245, 241 y 235 plantines prendidos respectivamente.
- ✓ La evaluación económica nos permite concluir que el tratamiento C1S3 (250 ppm de AIB sección apical), reporta mayor Tasa de Retorno Marginal (TRM) con 418.96%, es decir por cada 1 Bs. invertido se recibirá 4.19 Bs. resultando ser factible económicamente frente a los demás tratamientos.
- ✓ En evidencia de los resultados obtenidos, para niveles de concentraciones (AIB fitohormona), se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, por no encontrarse diferencias estadísticamente significativas.
- ✓ Para el sub tratamiento (secciones de la rama) se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula por presentar diferencias estadísticamente significativas.

Recomendaciones

- ✓ Realizar la multiplicación vegetativa del cedrón, con la aplicación del ácido indol butírico a una concentración de (250 ppm) o inferiores en ambiente controlado y con riego por nebulización, utilizando la sección apical para mejorar el prendimiento.
- ✓ Realizar el proceso de encallamiento antes del inicio de brotación por un lapso de tiempo de 24 días, en la época invernal para evitar la deshidratación de los esquejes, realizando cambio de agua cada 3 días, el mismo favorece un mejor prendimiento de los esquejes.
- ✓ Utilizar arena roja para la multiplicación vegetativa del cedrón por su alto contenido de porosidad, esto con la finalidad de no causar defectos en el crecimiento de la raíz.

Referencias Bibliográficas

- Ardaya, P. G. (2011). *Enraizamiento de Estacas de hoja del Porta-Injerto para duraznero G*N 15 Garnem (Prunus amygdalus Prunus pérsica)*. [Tesis de Grado Universidad Mayor de San Simón]. Cochabamba-Bolivia.
- Divo de Sesar, M. (2005). *Integración de estudios fisiológicos, histológicos y bioquímicos del proceso de enraizamiento, rusticación y crecimiento posterior de especies de importancia agronómica suplementadas con citoquininas*. [Tesis Doctoral].
- Azcón-Bieto, J. M. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Barcelona, España. Ediciones McGraw-Hill Interamericana.
- Bandoni, A. L. (2000). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. 1a. Ed., Editorial Universidad Nacional de la Plata, La Plata: 13 – 42.
- Cueva S. J. (2007). *Efecto del ácido indol-3-butírico (AIB), para incrementar la producción de raíces comerciales en yuca (Manihot esculenta)*, „Valencia“. Proyecto Especial Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras.
- Dutra, F. et al., (1999). Enraizamiento de estacas de ramos de pessegueiro (*Prunus pérsica* L. Batsch). *Revista Brasileira de Agrociencia*, 5(1), 328.
- Murrieta, L. C. (2010). *Influencia del Morfotipo, Fitohormona y Sustancia en la Propagación de Estacas Juveniles de Cedrela L. (cedro colorado)*. [Tesis de Grado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela profesional de Ingeniería Forestal]. Pucallpa – Perú: 22-24.
- Oyanadel, S. R. (2002). *Propagación por esquejes de tres especies medicinales Buddleja globosa Hope, Aristotelia chilensis (Mol) Stunz. Y Aloysia triphylla L'Her.* [Tesis de grado de la Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Agronomía]. Valdivia Chile: 54-56.
- Pina, J. A. (2008). *Propagación de plantas. Departamento de Producción Vegetal. Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología*. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial UPV. Valencia. España.
- Micol, V. (2011). Efecto de la suplementación de verbena de limón en los marcadores de año muscular, liberación de citosinas pro-inflamatorias y el estrés oxidativo de los neutrófilos en el ejercicio crónico. *Eur Appl Physiol*. 111(4): 695-705.

Modelo para la Evaluación de la Sostenibilidad de Sistemas de Riego

Porfirio David Gordillo Romero

Director Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional "Siglo XX", pdgordilloromero@gmail.com

Resumen

La investigación partió sobre la base, de un estudio de evaluación de 21 sistemas de riego en el altiplano boliviano, que realizó la gtz, el año 2015 y permitió a través de la investigación de cuatro estudios de casos, proyectos con diferentes problemáticas, donde se identificó las áreas, variables e indicadores más pertinentes, para el diseño del modelo de evaluación de la sostenibilidad de sistemas de riego, lo que permitirá mejorar la eficiencia de los sistemas de riego, este modelo se validó con la aplicación a los cuatro sistemas de riego, para ver su aplicabilidad y fiabilidad por el investigador y externamente por 15 expertos en el tema, por el método Delphi en la temática que le dan validez científica al modelo.

Palabra clave: modelo de evaluación, sostenibilidad, producción bajo riego.

Model for Assessing the Sustainability of Irrigation Systems

Gordillo Romero, P. D.

Abstract

The research started on the basis of an evaluation study of 21 irrigation systems in the Bolivian highlands, which was carried out by the gtz in 2015 and allowed, through the investigation of four case studies, projects with different problems, where identified the most pertinent areas, variables and indicators, for the design of the evaluation model of the sustainability of irrigation systems, which will allow improving the efficiency of the irrigation systems, this model was validated with the application to the four irrigation systems, to see its applicability and reliability by the researcher and externally by 15 experts on the subject, by the Delphi method on the subject that gives scientific validity to the model.

Key word: evaluation model, sustainability, production under irrigation

Introducción

Según la Organización de Naciones Unidas (2015), indica que la población mundial crece a un ritmo de 80 millones por año, esto hace que existan escases de alimentos cada vez más en el mundo, trae como consecuencia pobreza y hambre en las comunidades rurales de los diferentes países.

El riego se constituye, en uno de los factores más importantes en la producción agrícola en el país y otros, y representa tres a cuatro veces más la producción comparada con la producción a secano, y permite mejorar los ingresos económicos de las familias del área rural y su aporte económico para el desarrollo de las comunidades rurales, del país.

El tema de la evaluación de proyectos ex – ante, intermedia y ex – post y, actualmente evaluación de la sostenibilidad, es un problema latente en gran parte de los países latinoamericanos, que son obviados por falta de recursos económicos y políticas públicas, que permitirían mejorar la eficiencia y eficacia de los escasos recursos económicos públicos.

La novedad científica, por primera vez se diseña un modelo de evaluación, que nos permitirá valorar la sostenibilidad de sistemas de riego (producción agrícola sostenida de alimentos bajo riego de forma continua, para las actuales y futuras generaciones), permitirá reducir la pobreza y mejorar el desarrollo de comunidades, municipios del altiplano boliviano.

Materiales y Métodos

Ubicación política y geográfica

Los sistemas de riego Tres cruces y sistema de riego familiares villa armonía se encuentran en el departamento de Oruro, los sistemas de riego Presa Kuyuma y riego Agronomía se encuentran en el departamento de Potosí, país Bolivia, todos ellos situados en el altiplano boliviano, sobre una altitud de 3700 a 3800 msnm.

Materiales

Los instrumentos de investigación utilizados, fueron las guías de observación estructuradas (verificación in situ del estado de lo sistema de riego), encuestas por cuestionarios estructurados, para identificar los problemas, del porque no están funcionando adecuadamente los sistemas de riego e identificar los indicadores estratégicos para formular el modelo. Se utilizó y se debe utilizar instrumentos de medición precisos, como: Sistema de Posicionamiento Global (GPS), cronometro, termómetro, eclímetro, pluviómetro, flexómetro, evaporímetro, aforadores, anemómetro.

Metodología

Se logró seleccionar, la muestra en la primera fase por conveniencia y propósitos, cuatro sistemas de riego con diferentes características y problemas (sistema de riego grande, mediano, micro riego y familiares), la población son todos los usuarios actuales de los sistemas de riego evaluados y la muestra fue de 40%.

Para la investigación se considera los siguientes sistemas de riego:

- Sistema de riego grande Tres cruces con 41 km de canal y más de 1000 ha de riego.
- Sistema de riego mediano Presa Kuyuma apoyado por una Organización no gubernamental (ONG), por más de 10 años.
- Sistema de micro riego el K'enko administrado por la Universidad Nacional de “Siglo XX” (UNSXX).
- Sistema de riego familiar de Villa Armonía por bombeo, sin apoyo de ninguna organización.

Validez interna y externa

El investigador, ha completado la información que el modelo exige, como por ejemplo verificación de sus estatutos y reglamentos, resultados del análisis de aguas y suelos del laboratorio, mediciones de caudales de aforos (en dos épocas del año), pendientes y profundidad de suelos, posteriormente, se ha llenado los cuestionarios de los cuatro sistemas de riego, por usuarios, técnicos y autoridades.

Se ha utilizado, el método Delphi, según (Reguat y Torrado, 2016, p. 89), una técnica muy versátil, hace uso de información que proviene tanto de la experiencia como de los conocimientos de los participantes de un grupo, normalmente compuesto por expertos. Aunque existe una única metodología sus usos son muy diversos y se puede entender su utilidad cuando se carece de información objetiva y que con esta técnica se aumenta su fiabilidad, ya que supera los sesgos y limitaciones de un solo individuo y está recomendado para evaluaciones predictivas que ha sido la razón de este método.

Fiabilidad

Para el Departamento de Evaluación y Operaciones del Banco Mundial (2001), la triangulación es la técnica clave de análisis utilizada; permite asegurar la confiabilidad de las conclusiones por medio de fuentes múltiples de datos. Por ejemplo, los usuarios indican que la calidad del agua del sistema de riego tres cruces es algo salado, este se contrasta con resultados de análisis de laboratorio.

Aplicación del modelo de evaluación

La evaluación de los sistemas de riego consistió en la aplicación de la escala Likert, que según Llauradó (2022) La escala de Likert es una herramienta de medición que, a diferencia de preguntas dicotómicas con respuesta sí/no, nos permite medir actitudes y conocer el grado de conformidad del encuestado con cualquier afirmación que le propongamos. La escala de Likert contiene preguntas concretas y de opción múltiple que pueden ser contestadas con facilidad, las cuales generan datos sencillos de interpretar por métodos estadísticos. Las escalas utilizadas fueron: (1) Pésima, (2) Mala, (3) Regular, (4) Buena, (5) Excelente.

Resultados y Discusión

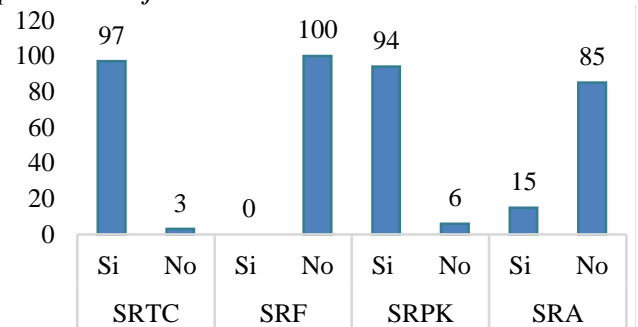
En dos partes, primero fue identificar los factores que están poniendo en riesgo el funcionamiento y sostenibilidad (diagnóstico), se obtuvo los resultados a través de las frecuencias estadísticas, que sirvió para determinar las 10 áreas de evaluación e indicadores para el diseño

del modelo y la segunda parte, la construcción del modelo y aplicación a sistemas de riego validado por expertos, conforme a la siguiente codificación:

- SRTC = Sistema de riego Tres cruces
- SRF = Sistema de riego Familiar
- SRPK = Sistema de riego Presa Kuyuma
- SRA = Sistema de riego Ing. Agronómica

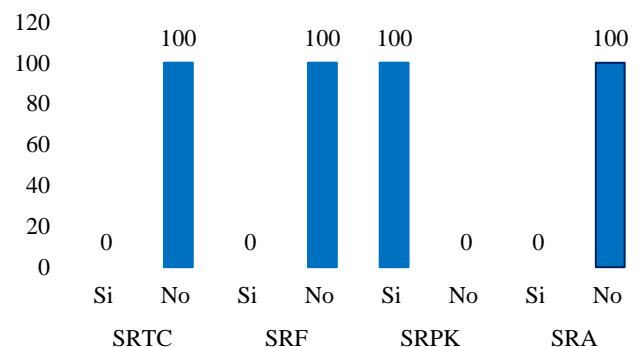
Organización

Figura 1. Los sistemas de riego tienen su personería jurídica



De la Figura 1, podemos indicar que solo los sistemas de riego SRTC y presa SRPK cuentan con su personería jurídica, los otros dos no lo tienen. Para Miranda (2005) el cumplimiento de los propósitos del proyecto exige un esfuerzo concertado para llevar adelante la operación y sostenibilidad del proyecto mediante modelos de administración.

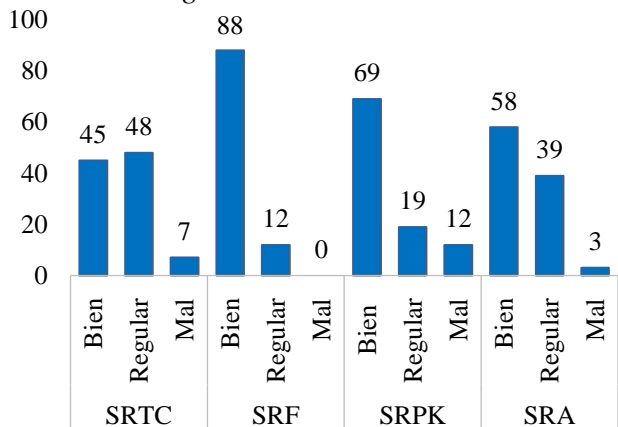
Figura 2. La cuenca donde se genera el agua pertenece a las organizaciones



De la Figura 2 se puede indicar, que solo el SRPK, tiene como propiedad la fuente de agua que es la cuenca de donde se genera el agua, pertenece a la comunidad y regantes, en el resto de los sistemas de riego no les pertenece. Para la FAO (2012) conocer el estado de disponibilidad y

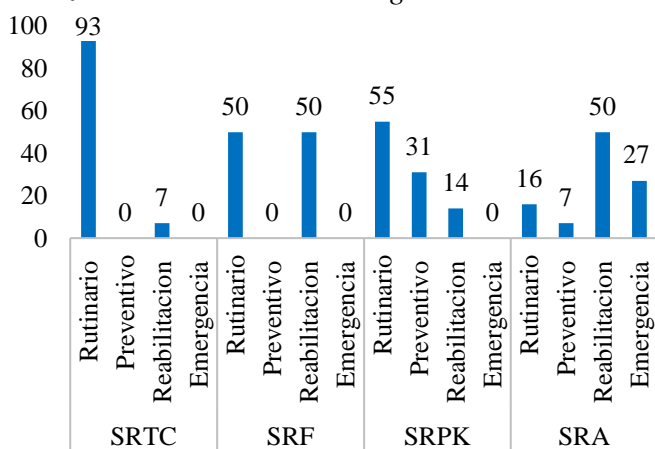
calidad del agua de uso agrícola es fundamental para planear el desarrollo agropecuario sustentable.

Figura 3. Estado de la infraestructura de los sistemas de riego



De la Figura 3 en el SRTC, el 45% indica que está bien, el 48% regular, en el SRF, el 88%, indica que está bien.

Figura 4. Que tipos de mantenimientos se realizan en los sistemas de riego

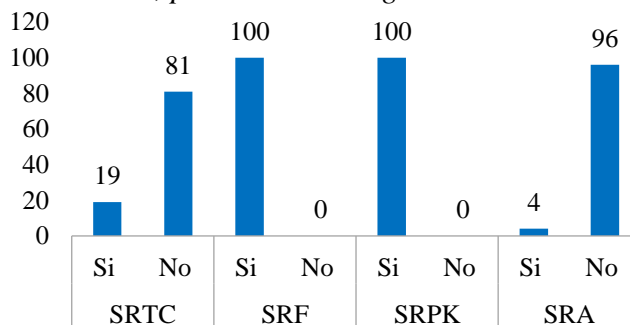


De la Figura 4, el SRTC, el 93%, de los usuarios realizan el mantenimiento rutinario, en el SRF, el 50%, indican que realizan mantenimiento rutinario y rehabilitación, en el SRPK el 55%, indican el rutinario, en el SRA, el 50%, indica que realizan el mantenimiento de rehabilitación. El programa Nacional de Riego (2004), menciona que cuando visitan sistemas de riego mejorado, muchas obras se encuentran en proceso de deterioro o deterioradas e inclusive algunas se

Resumen de resultados por áreas

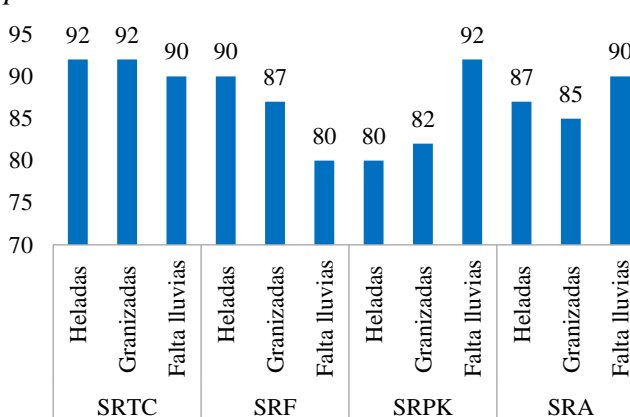
encuentran abandonadas, la pregunta es ¿Por qué los usuarios no asumen la actividad de mantenimiento?

Figura 5. Disponibilidad de recursos económicos, para realizar la gestión



De la Figura 5, solo el SRTC, no cuentan con recursos para garantizar el funcionamiento. FAO. (2008) la evaluación exhaustiva de la gestión del agua en la agricultura recopila cinco años de trabajo de más de 700 científicos y profesionales de todo el mundo, cuyo mensaje categórico y urgente es mejorar la gestión y recursos económicos para ello.

Figura 6. Factores climatológicos que afectan la producción



De la Figura 6, más del 79%, de los usuarios, de los cuatro sistemas de riego evaluados, indican las heladas, granizadas y falta de llluvias. Según la FAO (2010) en los EE. UU, hay más pérdidas económicas por el daño de las heladas que por cualquier otro fenómeno relacionado con la meteorología.

Tabla 1. Resumen de los resultados de la primera fase

Áreas	Problemas comunes
Institucionales	A excepción de la presa Kuyuma el resto no cuenta con su personería jurídica, no les permite a acceder a otras ayudas por parte del gobierno Este último exige que deben de tener su registro en el SEDERI a fin de garantizar la propiedad de la fuente de agua.
Disponibilidad de agua	La disponibilidad de agua es el factor más importante para la producción bajo riego. Los sistemas de riego presa Kuyuma, micro riego el K'enko tienen problemas graves de disponibilidad de agua caudales de 0,1 l/s y 0,35 l/s, les limita la producción de más hectáreas bajo riego. Los sistemas de riego Tres cruces también tendrán problemas por su ampliación de segunda y tercera fase con el tiempo. Los sistemas de riego familiares también tendrán dificultades sobre la disponibilidad de agua por las bajas precipitaciones en la zona 370 mm/año y extracción de agua permanente de los pozos ponen en riesgo el funcionamiento futuro.
Calidad del agua	La producción de alimentos saludables y nutritivos depende de la calidad de agua. El sistema de riego Tres cruces corre el riesgo de salinizar los suelos porque el agua es medianamente salada C3 S2, con el tiempo los suelos serán salinos por la fuerte evaporación más de 1700 mm/ año y serán suelos improductivos. El sistema de riego el K'enko, tiene problemas sobre la calidad del agua primero porque hacen uso de detergentes para lavar su ropa. Los sistemas de riego familiares tienen problemas de calidad de agua por asentamientos urbanos que echan sus basuras en la quebrada y cuenca y emanación de humo permanente para actividad de fundición de minerales ubicada a 1,5 Km, que están contaminados los pozos con el tiempo.
Disponibilidad de tierras	El sistema de riego Presa Kuyuma tiene problemas sobre disponibilidad de tierras (pequeñas áreas por beneficiario 300 m ² /familia). Los sistemas de riego familiares corren el riesgo de tener menos hectáreas bajo riego por asentamientos urbanos y asentamiento de urbanizaciones en la zona.
Factores climatológicos	Las bajas precipitaciones 300 – 650 mm/año, y fuerte evaporación entre 1500 – 1800 mm/año, presencia de días y meses con heladas en los cuatro sistemas de riego, peligro por la presencia de granizadas en los cuatro sistemas de riego con frecuencia por año de 4 a 5 veces, ponen en riesgo la seguridad de la producción sostenida.
Infraestructura	La sostenibilidad de la infraestructura está en función al estado y funcionamiento. La infraestructura del sistema de riego Tres cruces está en regulares condiciones y no está en funcionamiento por la acumulación de sedimento en la obra de toma por falta de mantenimiento.
Derechos al agua	Los cuatro sistemas de riego no presentan problemas sobre el derecho que tienen los usuarios a hacer usos del sistema de riego.
Distribución del agua	El 97% indican que la distribución del agua en el SRTC, no está definido por falta de coordinación entre las dos organizaciones de dos ayllus, motivo por el no funciona de forma permanente. El 61% del SRA tampoco tiene bien definido la distribución y tienen problemas en los turnos o forma de distribución, esto les está causando problemas. Todos estos problemas están poniendo en riesgo el funcionamiento del sistema de riego.
Mantenimiento	En los SRTC El 93% Indica que realizan el mantenimiento rutinario, en SRPK, SRK mas del 50% indican que realizan el mantenimiento rutinario en el SRA más del 50% indica que realizan el mantenimiento de rehabilitación, tienen problemas sobre mantenimiento por que no están bien organizados y no cuentan con recursos económicos.
Producción agrícola	Los rendimientos en el SRF, son altos mayores a 35 t ha ⁻¹ , los usuarios se dedican a la producción de hortalizas como cebolla y zanahoria se ha podido observar también que tienen una alta tecnología sobre producción de hortalizas más 20 años, de estos cultivos que ha heredado de sus antepasados.
Producción ganadera	Los SRTC, Se dedican más a la actividad ganadera 250 ovinos/familia, porque tienen vocación ganadera debido a la disponibilidad de tierras 80 ha/familia, en el SRPK 20 Ovinos/familia en el SRA 16 vacunos, en el SRF, no tienen ganado alguno, en los tres sistemas de riego mencionados tienen problemas sobre la producción de forraje para el ganado y solo esperan a la naturaleza y no se dedican a producir forraje.
Recursos económicos	La disponibilidad de recursos económicos es la base para una buena gestión de cualquier organización de riego. Podemos indicar que, en los SRTC, SRA, más del 80% indican que no cuentan con recursos económicos, porque no aportan los usuarios, en el SRPK, SRF más del 90% indican que, si cuentan con recursos económicos, acuerdo a sus reglamentos cada gestión 30 Bs/año.
Aspectos sociales	Los pobladores que pertenecen al SRTC, no cuentan con los servicios básicos de energía, agua potable, electricidad, los productores viven dispersados a lo largo de la longitud del canal de riego y solo viven de forma permanente 29 productores.

		Los pobladores que pertenecen al SRPK, no cuentan con algunos servicios básicos como alcantarilla.
		Los usuarios de los Sistemas familiares no cuentan con agua potable, alcantarilla si con energía eléctrica.
Riesgos de contaminación	de	El agua del sistema de riego (rio desaguadero) Tres cruces existen contaminación (explotación minera aurífera) aguas arriba estudio salinización y metales pesados Montoya Ch. 2006).
		Los sistemas de riego familiares, existen indicios de contaminación del agua y suelo, por la emanación permanente de humo producto de la fundición de minerales y presencia de otras empresas que está cerca del área de riego y el rio vinto. El SRA, también existe contaminación porque aguas arriba existe asentamiento de urbanizaciones.
Otras variables identificados que ponen en riesgo la sostenibilidad	la	Seguridad Jurídica no cuentan con personería jurídica los SRTC, SRA. Disponibilidad de tierras en los SRPK, SRF. Número de beneficiarios en el SRPK, a inicio 150 y finalmente 48, son muchos para la disponibilidad de agua. Disponibilidad de recursos económicos para realizar el mantenimiento en el SRTC Y SRA. Baja capacidad de gestión de los SRTC, SRA, SRPK. Presencia de días con granizo y meses con heladas en todos los sistemas de riego. Precios muy variables y bajos de los productos así por ejemplo en los sistemas de riego familiares el precio de la cebolla, zanahoria bajaron de 150 Bs/carga a 70 Bs/carga. Siempre están esperando la colaboración de organizaciones como el municipio, gobernación, ONGs.

Tabla 2. Áreas, variables e indicadores para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas de riego

Áreas	Variables	Indicadores
Marco legal	Acta de Fundación Estatuto y Reglamento Personería jurídica y registro	Libro de actas notariado Existencia y aplicación Existencia en el SEDERI-SENARI
Fuente de agua	Derecho legal Disponibilidad Caudal Volumen Calidad	Legalidad (posesión) del sitio de la toma Relación m ³ , hectáreas y usuarios Relación l/s, m ³ /ha, hectáreas y usuarios Porcentaje de su capacidad Salinidad y sodicidad según clasificación C1S1, C1S2, C2S1, C2S2, C3S3
Tierra y suelo	Área Pendiente Profundidad pH Textura Nutrientes N.P. K	Disponibilidad de tierra del sistema y usuario Estimación del rango óptimo de acuerdo al método de riego en %. En metros bajo el nivel de la superficie del suelo rango (0,30 – 180 m). Alcalinidad y acidez Porcentaje (arena, limo y arcilla), tipo de suelo Disponibilidad en Kg/ha rango óptimo
Clima	Temperatura media Presencia de heladas Granizadas Precipitación media	Rango óptimo para el altiplano entre 14 – 18 °C, para cultivos propios Meses Numero de granizadas por año Rangos de variación (100 - 1200 mm).
Infraestructura Hidráulica	Toma Aducción Almacenamiento Obras de arte Red de distribución Método de riego	Pertinencia y apropiada, estado y funcionalidad Eficiencia, estado y funcionalidad Estado y funcionalidad Estado y funcionalidad Eficiencia, estado y funcionalidad Eficiencia de riego de acuerdo al método
Gestión de riego	Organización Número de beneficiarios Representatividad Derechos Operación Distribución Mantenimiento Recursos económicos Aporte de cuotas	Existencia específica y estructuración Adecuado de acuerdo a la disponibilidad de agua Tipo de elección y liderazgo Conocimiento y cumplimiento Existencia de un responsable y capacitado Existencia de un responsable y capacitado Tipos de mantenimiento Disponibilidad de recursos y suficiencia Porcentaje de aportantes respecto al total de usuarios
Producción	Agrícola	Rendimiento/ha mayor, igual o menor a la media del altiplano.

Evaluación Económica	Pecuaria	Rendimiento/carne mayor, igual o menor a la media del altiplano.
	Estabilidad poblacional	Porcentaje de presencia permanente en la zona.
	Beneficio costo agrícola	B/C Mayor a 1, Igual a 0, Menor a 1
	Beneficio costo pecuario	B/C Mayor a 1, Igual a 0, Menor a 1
	Actividad económica principal	Porcentaje de dedicación Comparación con el salario mínimo nacional
Riesgo de Contaminación ambiental	Ingreso económico	Mercados locales, municipal y departamentales
	Vinculación comercial	
	de Agua y suelo (minera, crecimiento urbano y actividad industrial) y Atmosfera	Actividad, indicios y protección de la fuente de agua Actividad, indicios y protección de la tierra. Actividad, indicios y protección de la atmosfera.
Actores externos	ONGs	Grado de participación
	Fondo productivo social FPS	Grado de participación
	Municipios	Grado de participación
	Gobernación	Grado de participación
	Ministerio de agua y riego	Grado de participación
	Otros	Grado de participación

Aplicación del modelo de evaluación

En base a la escala Likert se lograron la siguiente clasificación de los sistemas de riego, los resultados fueron ponderados de acuerdo a los criterio que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Promedio ponderado general

Valor	Valoración cualitativa
0 a 50	No funciona, no sostenible
50,1 a 60	Funcionamiento en condiciones mínimas, mínima sostenibilidad
60,1 a 70	Funcionamiento en condiciones regulares, regular sostenibilidad
70,1 a 80	Funcionamiento en condiciones buenas, buena sostenibilidad
80,1 a 90	Funcionamiento en condiciones óptimas, sostenibilidad optima
90,1 a 100	Funcionamiento en condiciones excepcionales, Sostenibilidad excepcional

Figura 7. Roseta de calidad de sistemas de riego (a) Tres Cruces, (b) Presa Kuyuma, (c) Sistema de Riego Kénko, (d) sistema de riego Familiar

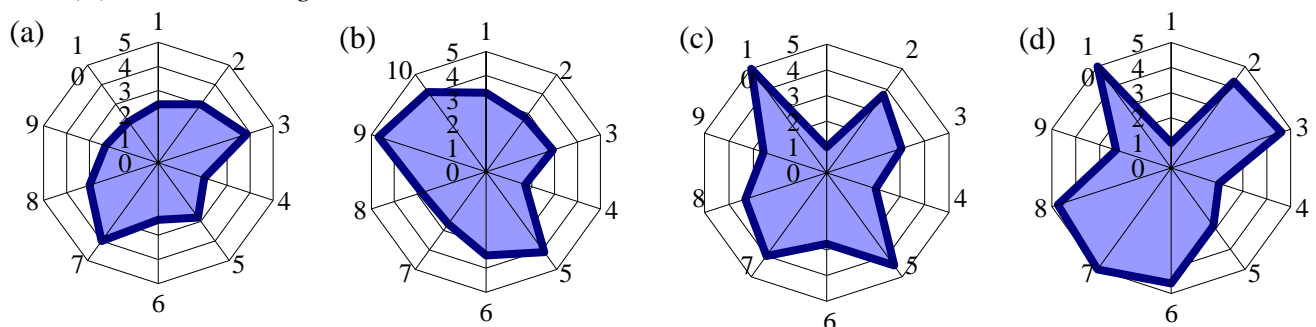


Tabla 4. Valoración global de sostenibilidad del sistema de riego “Tres cruces”

Áreas	Promedio	Porcentaje	Ponderación	Promedio Ponderado
	X_a	P_a	W_a	$PP_a = p_a w_a / 10$
1. Normas legales	2,43	49	0,50	2,43
2. Agua	3,00	60	1,50	9,00
3. Tierra y suelo	3,85	77	1,50	11,54
4. Clima	1,71	34	0,50	1,71
5. Infraestructura hidráulica	2,50	50	1,50	7,50
6. Gestión	2,35	47	1,00	4,71
7. Producción	3,60	72	1,00	7,20
8. Evaluación económica y social	3,67	73	1,00	7,33
9. Riesgo ambiental	2,31	46	1,00	4,62
10. Actores externos	1,90	38	0,50	1,90
		TOTAL	10,00	57,94

Tabla 5. Valoración global de sostenibilidad de los sistemas de riego familiares

Areas	Promedio	Porcentaje	Ponderacion	Promedio ponderado
	X_a	P_a	W_a	$PP_a = p_a w_a / 10$
1. Normas Jurídicas e Institucionales	1,00	20	0,50	1,00
2. Agua	4,25	85	1,50	12,75
3. Tierra y suelo	4,62	92	1,50	13,85
4. Clima	2,00	40	0,50	2,00
5. Infraestructura hidráulica	2,86	57	1,50	8,57
6. Gestión	4,60	92	1,00	9,20
7. Producción	5,00	100	1,00	10,00
8. Evaluación económica y social	4,75	95	1,00	9,50
9. Riesgo de contaminación ambiental	2,31	46	1,00	4,62
10. Actores externos	5,00	100	0,50	5,00
		TOTAL	10,00	76,48

Tabla 6. Valoración global de sostenibilidad del sistema de micro riego El K'enko, Ing. Agronómica

Áreas	Promedio	Porcentaje	Ponderación	Promedio ponderado
	X_a	P_a	W_a	$PP_a = P_a W_a / 10$
1. Normas Jurídicas e Institucionales	1,00	20	0,50	1,00
2. Agua	3,75	75	1,50	11,25
3. Tierra y suelo	3,06	61	1,50	9,18
4. Clima	2,00	40	0,50	2,00
5. Infraestructura hidráulica	4,46	89	1,50	13,38
6. Gestión	2,76	55	1,00	5,53
7. Producción	4,00	80	1,00	8,00
8. Evaluación económica y social	3,33	67	1,00	6,67
9. Riesgo contaminación ambiental	2,58	52	1,00	5,17
10. Actores externos	5,00	100	0,50	5,00
		TOTAL	10,00	67,17

Tabla 7. Valoración global de sostenibilidad del sistema de riego Presa Kuyuma

Áreas	Promedio	Porcentaje	Ponderación	Promedio ponderado
	X_a	P_a	W_a	$PP_a = P_a W_a / 10$
1. Normas Jurídicas e Institucionales	3,29	66	0,50	3,29
2. Agua	2,78	56	1,50	8,33
3. Tierra y suelo	2,92	58	1,50	8,77
4. Clima	1,71	34	0,50	1,71
5. Infraestructura hidráulica	4,13	83	1,50	12,38
6. Gestión	3,47	69	1,00	6,94
7. Producción	2,67	53	1,00	5,33
8. Evaluación económica y social	2,80	56	1,00	5,60
9. Contaminación ambiental	4,69	94	1,00	9,38
10. Actores externos	4,10	82	0,50	4,10
		TOTAL	10,00	65,84

Como resultado indicar que, conforme al promedio ponderado de la Tabla 3, el Sistema de riego Tres Cruces, logró un valor de 57,94%, por cuanto, se encuentra en una valoración cualitativa de funcionamiento en condiciones mínimas (mínima sostenibilidad). Los sistemas de riegos familiares fueron los más óptimamente evaluados logrando un valor de 76,48% cuya valoración cualitativa indica encontrarse en funcionamiento en condiciones buenas (buena sostenibilidad). El sistema de riego El K'enko Ing. Agronómica, se puede decir que, se tiene un promedio ponderado general de 67,17% considerado como sistema de riego con funcionamiento en condiciones regulares (regular sostenibilidad). Similar escenario del sistema de riego Kuyuma con 65,84%.

Resultados de la valoración

Tabla 8. Evaluación por expertos

Preguntas o ítems	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E10	X
El nivel de adecuación de los fundamentos teóricos al modelo propuesto	4	5	5	5	4	5	4	4	5	5	4,6
El nivel de adecuación del modelo al diagnóstico	4	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4,7
Adecuación de los componentes estructurales del modelo	4	5	4	4	4	4	5	4	4	5	4,3
Pertinencia y aplicabilidad del modelo	5	5	5	5	5	4	5	4	4	5	4,7
Actualidad del modelo	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4,9

De la Tabla 8, para las cinco preguntas planteadas se obtuvo un promedio superior a 3,75 de (0-5) por lo que no fue necesario recurrir a una segunda vuelta.

Del resultado por los expertos, podemos afirmar que la valoración más alta es de 4,9 sobre 5, que indica que modelo tiene una actualidad, una pertinencia y aplicabilidad de 4,7 y una fundamentación teórica de 4,6 que confirma que el modelo propuesto se constituye en una herramienta útil y practica para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de riego.

El método Delphi según (Reguat y Torrado, 2016, p. 89), indica que es una técnica muy versátil, ya que hace uso de información que proviene tanto de la experiencia como de los conocimientos de los participantes de un grupo, normalmente compuesto por expertos.

Los estudios de caso pueden cubrir múltiples casos y luego esbozar un único conjunto

Validación del modelo

A través de la técnica Delphi, por profesionales expertos en el tema, que no están involucradas directamente con la investigación, la pertinencia del tema, los métodos, los cuestionarios, resultados que se obtuvieron y la utilidad del modelo, que al final se constituyen en el pilar de la investigación científica que es la validez interna y externa del modelo.

Selección de expertos de acuerdo al coeficiente de competencias K.

$$K = \frac{1}{2} (kc + ka) \tag{1}$$

Donde

kc: Coeficiente de conocimiento

ka: Coeficiente de argumentación

de conclusiones a partir de los “casos cruzados” como ejemplo dos ejemplos sobre un tema de continuo interés: identificar programas exitosos para mejorar las condiciones sociales de Estados Unidos (Yin, 2014, p.19), y sirve para resultados predictivos.

Conclusiones

Heurísticamente, se ha logrado diseñar un modelo de evaluación de la sostenibilidad de sistemas de riego (funcionamiento continuo, producción de alimentos de forma sostenida y mejorar los ingresos económicos de los usuarios) en el país y otros de sud américa que tengan similares contextos y tiene la siguiente sigla Modelo de Evaluación de la Sostenibilidad de Sistemas de Riego (MESSR).

Holísticamente el modelo evalúa por áreas y de forma global y propone un plan de acción o plan de mejora, para las soluciones más viables y

conseguir la sostenibilidad de los sistemas de riego y volver a evaluar (retroalimentación) una vez que se han solucionado los problemas.

Epistemológicamente el modelo ha sido validado tanto interna con la aplicación del mismo a los cuatro sistemas de riego y externamente a través de la técnica Delphi por expertos que le dan las bases fundamentales de validación y fiabilidad al modelo.

Cada usuario productor, debe de tener mínimo dos hectáreas bajo riego óptimo en el altiplano, si quiere vivir exclusivamente de la producción agrícola, así se ha determinado en el diagnóstico de los sistemas de riego familiares por bombeo, donde los productores de hortalizas viven exclusivamente de los ingresos que son mayor a 3.000,00 Bs/mes (mayor al salario mínimo que es de 2060).

Finalmente podemos indicar que existen factores que difícilmente se pueden modificar para solucionar los problemas, por ejemplo, derecho de propiedad de la fuente de agua (cuenca, vertiente, sitio de emplazamiento de la obra), disponibilidad de agua y tierras, calidad del agua, características de los suelos (profundidad y pendiente) condiciones climáticas (temperatura, precipitaciones, número de días con heladas, presencia de granizadas) y el peligro constante de asentamiento de urbanizaciones cerca al área de riego.

Referencias Bibliográficas

- BID. (2015). *Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos*. Washington. D.C. EE.UU.
- CEUB. (2015). Comité Ejecutivo de la Universidad Boliviana Bases Teóricas y del Término de Caracalla Roma - Italy.
- FAO. (2008). *Agua para la alimentación Agua para la vida. Una evaluación exhaustiva de la Gestión del Agua en la Agricultura*. Londres: Earthscan y Colombo: Instituto Internacional del Manejo del Agua.
- FAO. (2010). *Protección Contra Heladas Fundamentos Prácticos y Economía Viabilidad*
- FAO. (2017). *Agua y Desarrollo Sostenible Programa ONU, Agua para la Promoción y Comunicación en el marco del Decenio*. Spp. pdf. Caracalla Roma.

- FAO. (2017). FAO y los ODS, *Indicadores, Seguimiento de la Agenda 2030, para el Desarrollo Sostenible*. Caracalla Roma Italia. www.fao.org.16919ES/1/04.17.
- Llauradó, O. (15 de febrero de 2022). *La escala de Likert: qué es y cómo utilizarla*. Obtenido de <https://www.netquest.com/blog/es/la-escala-de-likert-que-es-y-como-utilizarla>
- Miranda J. (2005). *Gestión de Proyectos Identificación, Formulación, Evaluación Financiera - Económica - Social - Ambiental*. Bogotá, D.C- Colombia Quinta edición. Guadalupe Ltda.
- ONU. (2015). *Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible*. Objetivos del Desarrollo Sostenible 17 objetivos para transformar nuestro mundo Nueva York. EE.UU.
- Reguat. A., Torrado. F. (2016). El Método Delphi REIRE, *Innovación recerca en educació*. 9(1), 89. www.uv.edu/ice/reire.htm.
- Salazar, L., Saravia, R. y Rafael, H. (2010). *Sustentabilidad y Autogestión de Sistema de Riego*. Cochabamba – Bolivia. Editorial. PROAGRO GTZ.
- Shildeshare. (2016). *Modelos de evaluación de proyectos*. Recuperado de www.es.shildeshare.net
- USDA. (1975). *U.S. Salinity laboratory Staff. Clasificación de aguas de riego* USDA. Washington D.C. USDA.
- Yin, R. (2014). *Desing and Methods – fourth edition*, pp. 2-20. London Sage.

Criterios de Diagnostico e Indicadores Estratégicos para la Evaluación de la Sustentabilidad en Sistemas de Riego Bajo una Agricultura Intensiva en la Cuenca de Paria departamento de Oruro

Martha Meneses Mancilla¹

¹Docente titular, Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional "Siglo XX", e-mail menessmm1016@gmail.com

Resumen

El presente estudio evalúa la sustentabilidad de un sistema de riego a partir de la selección de criterios de diagnóstico e indicadores, agrupados en diferentes ámbitos de forma integral. Con este propósito se considera metodologías del MESMIS y PROAGRO, que permiten evaluar el sistema de riego "Cotochullapa", ubicado en el Altiplano central de Bolivia. La evaluación comprende siete criterios de diagnóstico y 20 indicadores clasificados en tres ámbitos; de los cuales, nueve indicadores corresponden al ámbito Ambiental, cinco al ámbito Económico Productivo; seis en el ámbito de Gestión del Agua. Los resultados de la evaluación determinan una sustentabilidad moderada. Los indicadores de alta sustentabilidad están referidos a la cantidad y calidad del agua, relación beneficio costo, vinculación comercial, derechos y acceso al agua de riego y organización comunal. Los indicadores de sustentabilidad media corresponden al riesgo de contaminación, área de riego, calidad de los suelos, diversidad de especies agrícolas, rendimiento, ingreso económico por familia, distribución y reparto del agua, desempeño de la organización de la gestión de riego. Los indicadores de baja sustentabilidad están relacionados con la diversidad de especies pecuarias, prácticas de conservación y regeneración de suelos, uso de recursos e insumos orgánicos, manejo del agua, autosuficiencia, el estado de la infraestructura y su mantenimiento. El indicador de valor medio y bajo ponen en riesgo la sustentabilidad del sistema, la atención a estos indicadores garantiza la sustentabilidad del sistema de riego, con calidad ambiental, rentabilidad económica, estabilidad y calidad social.

Palabras clave: metodología MESMI, PROAGRO.

Diagnostic Criteria and Strategic Indicators for the Assessment of Sustainability in Irrigation Systems under Intensive Agriculture in the Paria Basin, Oruro Department

Meneses Mancilla, M.

Abstract

This study evaluates the sustainability of an irrigation system based on the selection of diagnostic criteria and indicators, grouped in different areas in an integral way. For this purpose, MESMIS and PROAGRO methodologies are considered, which allow evaluating the "Cotochullapa" irrigation system, located in the Central Altiplano of Bolivia. The evaluation comprises seven diagnostic criteria and 20 indicators classified in three areas; of which nine indicators correspond to the Environmental field, five to the Productive Economic field; six in the area of Water Management. The results of the evaluation determine a moderate sustainability. High sustainability indicators refer to the quantity and quality of water, cost-benefit ratio, commercial linkage, rights and access to irrigation water and community organization. The average sustainability indicators correspond to the risk of contamination, irrigation area, soil quality, and diversity of agricultural species, yield, and economic income per family, distribution and distribution of water, performance of the organization of irrigation management. Low sustainability indicators are related to the diversity of livestock species, soil conservation and regeneration practices, use of organic resources and inputs, water management, self-sufficiency, the state of infrastructure and its maintenance. The indicator of medium and low value puts the sustainability of the system at risk; attention to these indicators guarantees the sustainability of the irrigation system, with environmental quality, economic profitability, stability and social quality.

Keywords: methodology MESMI, PROAGRO.

Introducción

La base de la producción agrícola, está dada por la disponibilidad y accesibilidad a los recursos naturales, principalmente tierra, agua y otros insumos utilizados para la producción de alimentos; éstos deberían garantizarse para tener una producción agrícola estable. Sin embargo, la producción agrícola viene atravesando por una etapa crítica, que merece ser analizada no solo para la satisfacción de la población que demanda alimentos, sino en la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola bajo riego, donde la producción se ha intensificado, debido a que las tierras regables son escasas, y la demanda de agua no es satisfecha, lo que incide en la producción.

La agricultura en la cuenca del río Paria (departamento de Oruro), es intensiva, condicionada por el clima. A esto se suma los riesgos adversos como sequías, heladas y granizadas y la escasa disponibilidad de tierra cultivable bajo riego, que disminuye en cada generación por efecto de la sucesión hereditaria, y su uso está sujeta a la disponibilidad de agua.

El sistema de riego Cotochullpa, ubicado en la cuenca del río Paría, con una producción agrícola intensiva, considerada como unidad de análisis, cuya sustentabilidad ha sido evaluada aplicando metodologías del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos

Naturales Mediante Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) y el Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable (PROAGRO), bajo criterios de diagnóstico e indicadores contextualizados al medio; los mismos permitieron identificar indicadores estratégicos de sustentabilidad, orientado a un modelo de compatibilizar el desarrollo económico con el bienestar social y la conservación del medio ambiente.

La información se obtuvo aplicando técnicas encuestas, entrevistas, talleres y observaciones directas, con el propósito de contribuir a la formulación de planes de desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria.

Materiales y Métodos

Contexto

El área de estudio (Figura 1), sistema de riego Cotochullpa, se encuentra ubicada en la cuenca menor del río Paria, corresponde a la provincia Cercado, municipio de Soracachi del departamento de Oruro. Localizado entre las coordenadas 17° 43' y 17°48'40" de latitud Sud y 66°54' y 66°59' de longitud Oeste a una altitud de 3770 msnm (Plan Departamental del Riego, 2004).

Figura 1. Localización del sistema de riego Cotochullpa



La comunidad se encuentra entre las estribaciones de la cordillera Real, con características climáticas de tipo semidesértico, con estación húmeda y seca, la precipitación oscila alrededor de 400 mm, con una temperatura media anual que varía entre 7,6 y 10,7°C; las temperaturas máximas promedio oscilan entre 20 y 23°C en los meses de noviembre y diciembre, las mínimas promedio están entre 9 y 10 °C bajo cero que ocurren en junio y julio.

En la zona se puede observar especies silvestres (propias del Altiplano) y especies cultivadas (hortalizas de hoja y raíz, bulbo, y legumbres), como también muy pocas especies arbóreas (*Populus alba*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*), pino insigne (*Pinus radiata*) y sauce llorón (*Salix babilónica*), todos ellos introducidos.

Los habitantes asentados en la cuenca son descendientes de una cultura quechua. La organización de las comunidades está basada en el sindicato agrario y organizaciones de regantes en cada comunidad. El ayllu es una de las formas de organización que continúan regulando el acceso a la tierra según sus usos y costumbres, siendo la contribución el mecanismo de regulación del acceso a la tierra.

Metodología

La evaluación de la sustentabilidad del sistema de riego, está basada en la propuesta realizada por Masera, M. (1999), Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Mediante Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), es una herramienta metodológica que permite conocer de manera particularizada las necesidades de manejo de cada sistema, con miras a mantener o mejorar la productividad, reducir riesgos e incertidumbre, aumentar los servicios ecológicos y socioeconómicos, proteger la base de recursos y prevenir la degradación de suelos, agua y biodiversidad, sin disminuir la viabilidad económica del sistema.

Este método de investigación fue contextualizado y ajustado a las características del sistema de riego Cotochullpa, donde se consideró los indicadores de sustentabilidad de sistemas de riego propuestos por Salazar, Saravia y Rafael. (2010).

Unidad de análisis

La unidad de análisis esta dimensionado por el entorno ambiental, económico productivo y gestión de agua; para este efecto, ha sido seleccionado el sistema de riego Cotochullpa, cuyas características se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de la infraestructura de riego en el sistema

Componentes de la infraestructura	Tipo de obra	Dimensión
Captación	Galería filtrante	Longitud 36 ml Transversal al rio
Captación	Galería filtrante Trinchera filtrante	Desconocida
Canal principal	Canal abierto (revestido rectangular y de tierra)	150 ml revestido 1700 ml de tierra
Canales secundarios	Abiertos forma irregular	2000 ml al norte 700 ml al sud este
Estanque	Hormigón ciclópeo	Capacidad de 85.3m ³
Obras de arte		
<ul style="list-style-type: none"> • Desarenador • Canal de desfogue • Paso vehicular 	<ul style="list-style-type: none"> • Hormigón ciclópeo • Hormigón ciclópeo • Adecuado por usuarios • Mampostería de piedra 	<ul style="list-style-type: none"> Uno Uno Dos
<ul style="list-style-type: none"> • Compuertas • Distribuidores 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo bastón • Improvisados orificios o aberturas en la parte lateral de los canales 	<ul style="list-style-type: none"> Cuatro No está determinado

Determinación de los indicadores estratégicos

Los indicadores estratégicos fueron identificados a partir del análisis de fortalezas y

debilidades, comparado con parámetros establecidos por diferentes autores, como los propuestos por Salazar, Saravia y Rafael (2010) y evaluados bajo la metodología del MESMIS.

Tabla 2. *Determinación de criterios de diagnóstico e indicadores de sustentabilidad para el sistema de riego Cotochullpa*

Ámbito	Atributos	Criterios de diagnóstico	Indicadores
AMBIENTAL	Estabilidad Confiabilidad Adaptabilidad Resiliencia	<p>a. Oferta de agua para riego</p> <p>b. Disponibilidad de suelos</p> <p>c. Agrobio-diversidad</p> <p>d. Prevención de riesgos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad (variabilidad temporal) y Calidad del agua en la fuente • Riesgo de contaminación • Área de riego • Calidad de los suelos (Químicos, físicos, biológicos) • Diversidad de especies agrícolas • Diversidad de especies pecuarias • Prácticas de conservación y regeneración de suelos • Uso de recursos e insumos orgánicos • Manejo del agua en la parcela
ECONÓMICO-PRODUCTIVO	Productividad Estabilidad Autosuficiencia	<p>a. Eficacia y eficiencia productiva</p> <p>b. Dependencia de recursos e insumos externos</p> <p>c. Vinculación comercial</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento • Ingreso por familia • Relación Beneficio/costo • Autosuficiencia • (Dependencia de recursos e insumos externos) • Vinculación comercial
GESTIÓN DEL AGUA	Autogestión	<p>a. Disponibilidad de agua en la parcela</p> <p>b. Nivel de organización</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Derecho y acceso al agua de riego • Infraestructura de riego (condición y funcionalidad) • Distribución y reparto del agua • Mantenimiento • Organización • Organización de la gestión de riego

Estos 20 indicadores y nueve criterios de diagnóstico (Tabla 2), han sido clasificados de acuerdo a los atributos (estabilidad confiabilidad, adaptabilidad, residencia, productividad, autosuficiencia y autogestión) en los ámbitos: ambiental, económico productivo y gestión del agua.

Medición y monitoreo de indicadores

Esta fase contempla el diseño de herramientas o instrumentos de análisis y obtención de la información como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. *Resumen de herramientas para la determinación de la sustentabilidad del sistema de riego Cotochullpa*

Ámbito	Criterios	Indicadores	Técnicas	Instrumento	Aplicado a
AMBIENTAL	Oferta de agua para riego	Cantidad (variabilidad temporal) Calidad del agua Riesgo de contaminación	Entrevista Observación directa	Guía de entrevista Recorrido del área de riego Planilla de registro de datos Croquis del sistema	Autoridades y Usuarios del sistema de riego Sistema de riego

			Talleres	Exposición Dialogo Debate	Autoridades Usuarios	
Disponibilidad de suelos		Área de riego Calidad de los suelos (características químicas, físicas, biológicas)	Observación directa Entrevistas	Recorrido del área de riego Planilla de registro de datos Croquis del sistema Guía de entrevista	Sistema de riego Autoridades y Usuarios del sistema de riego	
Agrobio diversidad	-	Diversidad de especies agrícolas Diversidad de especies pecuarias	Talleres Observación directa Entrevistas	Exposición Dialogo Debate Recorrido del área de riego Planilla de registro de datos (identificación de especies agrícolas) Guía de entrevistas	Usuarios del sistema de riego Usuarios del sistema de riego	
Prevención riesgos	de	Prácticas de conservación y regeneración de suelos Uso de recursos e insumos orgánicos Manejo del agua en la parcela	Observación directa Entrevistas Talleres	Exposición Debate Diálogo Recorrido del área para observar prácticas de conservación Planilla de registro de datos Guía de entrevistas	Sistema de riego Usuarios del sistema Usuarios del sistema	
ECONÓMICO PRODUCTIVOS	Eficacia y eficiencia productiva	Rendimiento Ingreso familiar Relación beneficio/costo	Entrevistas Talleres	Guía de entrevistas Exposición Debate Diálogo	Usuarios del sistema Usuarios del sistema	
	Dependencia de recursos e insumos externos Vinculación comercial	Autosuficiencia Vinculación comercial	Entrevistas Talleres	Guía de entrevistas Exposición Dialogo Debate	Usuarios del sistema de riego Usuarios del sistema de riego	
GESTIÓN DEL AGUA	Disponibilidad de agua en la parcela	Derecho y acceso al agua de riego Distribución y reparto del agua	Talleres Entrevistas	Exposición Dialogo Debate Guía de entrevistas	Usuarios del sistema de riego Usuarios del sistema de riego	
	Nivel de organización	Infraestructura de riego (condición y funcionalidad Mantenimiento Organización Organización de la gestión de riego Infraestructura de riego (condición y funcionalidad Mantenimiento	Observación	Recorrido de la infraestructura Planilla de registro de datos	Sistema de riego	

Para la obtención de la información primaria y el análisis de la percepción de los usuarios del sistema de riego, se utilizaron técnicas de levantamiento de información como: planos y mapas parlantes, entrevistas, observación intensa y sistemática, talleres grupales y testimonios. Cada una de estas técnicas fueron aplicada de acuerdo al, con sus respectivas características y particularidades.

Resultados y Discusión

Sustentabilidad ambiental determinación de puntos críticos

Oferta de agua para riego: Cantidad y calidad del agua para riego y riesgo de contaminación

La oferta de agua, está sujeta a cambios climáticos y los caudales pueden variar de un año a otro; sin embargo, su calidad corresponde a la clase C1S1, considerada apta para el riego de todo tipo de cultivos.

Los meses con menor oferta de agua corresponden a junio, julio y agosto con 12 l/s, el mes de septiembre presenta un déficit de agua. La disminución del caudal en el río coincide con la época de mayor demanda de agua por los cultivos, estas variaciones permiten al agricultor planificar de acuerdo a la oferta. Además, el sistema cuenta un pozo de 60 m de profundidad de donde se extrae 15 l/s de agua y el agua para riego esta asegurada.

El riesgo de contaminación está latente, no se ha identificado fuentes de contaminación minera, existe la posibilidad de sufrir contaminación por el uso de agroquímicos en los sistemas de riego aguas arriba, Según las OMS (s.f.), el uso de agroquímicos puede afectar niveles de aguas subterráneas, más aún si los productos usados son clorados y fosforados.

Disponibilidad de suelos: Área de riego, calidad de suelos

El área de riego experimenta algunas variaciones, el área regable es de 105 ha y solo se riega 52% (55 ha), cada usuario tiene 5 ha regables y riega 2,6 ha. Los cultivos pueden rotar en ese

espacio y está sujeto a los recursos económicos y mano de obra. La demanda de agua se cubre parcialmente. Tolon y Lastra (2007-2008), manifiestan que el área de riego está supeditada a la disponibilidad de agua y restringida por la tenencia de tierra toda vez que en él se suscitan diferentes procesos de producción.

Según el análisis (1995 y 2012), se advierte que la textura ha cambiado de franco arcilloso a franco limoso, la densidad aparente de 1,28 g/cm³ a 1,40 g/cm³, lo cual, dificulta el desarrollo radicular de los cultivos por la compactación. Los niveles de nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P) se incrementaron, aunque, el N sigue siendo bajo con relación a los niveles aceptables (0,16 – 0,30%), el P y el K han alcanzado niveles altos dentro la clasificación, encontrándose dentro de los niveles de 10-25 ppm, y 0,45-0,60 meq/g, respectivamente. La materia orgánica también se ha incrementado, pero aún se considera bajo, la conductividad eléctrica, muestra que las sales en los suelos han bajado, de fuertemente a moderadamente salinos y el pH manifiesta un incremento gradual, de moderadamente alcalino a inicios de una fuerte alcalinización (Villarreal, 1998).

Considerando lo descrito y los parámetros de evaluación de la calidad de los suelos, Altieri y Nicolls (2007), indican que la producción intensiva donde existe alto consumo de agroquímicos, conlleva a la alcalinización de los suelos.

Agrobiodiversidad, prevención de riesgos, uso de recursos orgánicos, manejo del agua en la parcela

La agro-diversidad en un sistema de riego, permite un alto nivel de sustentabilidad y sostenibilidad en la producción y productividad; la menor diversidad o tendencia a monocultivos, induce a un mayor requerimiento de productos fitosanitarios químicos, poniendo en riesgo los principales recursos productivos como es el suelo y el agua.

Considerando los aspectos mencionados, se conoce que el 95% de los usuarios, tienen en su estructura agrícola solo dos especies hortícolas, teniendo como especies principales: a la zanahoria y la cebolla, los mismos, por su importancia

económica, ocupan la mayor superficie dentro los predios de cada familia.

El sistema muestra una alta capacidad para la adaptabilidad y desarrollo de otras especies, pese a las limitaciones climáticas. Si bien la cantidad de especies cultivables por usuario supera las tres especies agrícolas, en general se puede advertir más de 15 especies (entre silvestre, forestales y cultivos), que están restringidas en pequeñas superficies. Al respecto Pavon (2003), menciona que la mayor diversidad de especies otorga al sistema alta sustentabilidad; sin embargo, las condiciones para su manejo (tendencias al monocultivo y rotaciones espaciales) restringen su área de producción.

La actividad pecuaria se constituye en un complemento importante de la actividad agrícola. En muchos casos le da el soporte económico y sustento a la agricultura. Debido a las condiciones de espacios de pastoreo, falta de forraje o alimento, conocimiento técnico de manejo y sobre todo la mano de obra para el pastoreo; si se trata de ganado ovino o vacuno, no se puede incursionar en esta actividad con visión comercial. Pero, cada familia siempre o casi siempre tiene algún tipo de animales, lo cual permite compensar o complementar su actividad productiva o de consumo.

Según Altieri (1999) la tenencia cuantificada de especies, no determina la alta o baja sustentabilidad, si no se considera aspectos vinculados al manejo como las condiciones de las instalaciones para la crianza, disponibilidad de alimento, contribución de residuos (estiércol) a la producción agrícola y el aporte a la seguridad alimentaria de las familias, con alimentos como leche, carne, huevos

La evaluación de las prácticas de conservación y/o regeneración de los suelos estableció que el 71% de los usuarios practican la rotación de cultivos entre cebolla, zanahoria y cebada (en la misma parcela). Los dos cultivos de cebolla y zanahoria se combinan casi constantemente año tras año, hasta que los rendimientos bajan donde ingresa la cebada con una lógica de poner en descanso la parcela.

El 100% de los usuarios aplican abonos orgánicos (estiércol de ovino) cada tres años, ningún usuario realiza prácticas asociadas, no hay siembras de cultivos de cobertura, etc.

Los problemas de sustentabilidad en la producción intensiva, según indica Tolon y Lastra (2008) son debido al deterioro del suelo por la poca o inexistente planificación para el manejo de los suelos y el uso inapropiado de los pesticidas. Los resultados expuestos muestran una clara evidencia de riesgo en el sistema que está vinculado con el deterioro de los suelos y la producción agrícola.

El uso de insumos orgánicos como el estiércol es bajo, se dispone solo del 10% del total requerido en la producción, no se elabora ningún repelente ni controlador de insectos, enfermedades ni herbicidas. El uso de energías humanas con implementos de labranza tradicionales (yunta), se da en diferentes momentos del proceso productivo, evidenciándose que las labores culturales (deshierbes y aporques) y la cosecha son realizadas de forma manual.

Por otra parte, el uso de maquinaria es imprescindible para la preparación del terreno, lo que implica una afección paulatina a los suelos. El 100% de los agricultores aplican agroquímicos en diferentes etapas en la producción de hortalizas; testimonios de los agricultores, indican que se ha incrementado las frecuencias y la dosis de aplicación.

Luego del análisis respecto a la disponibilidad y uso de insumos locales (como productos orgánicos inofensivos), y como principio de buscar la estabilidad y confiabilidad medio ambiente.

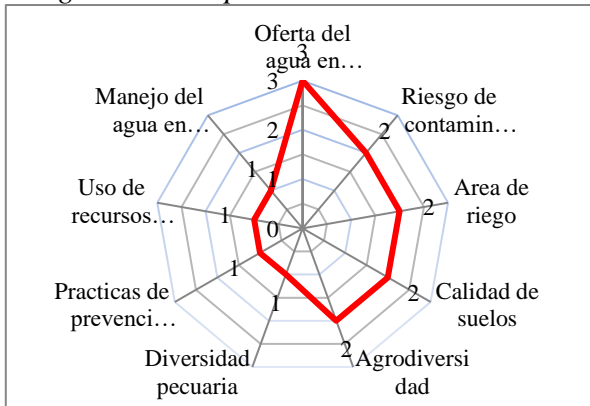
La aplicación del agua en las parcelas es por gravedad y está en función de los turnos de riego que tienen una duración de 12 horas, con un intervalo de 11 días; con una baja eficiencia de aplicación. Existen etapas en el proceso de producción, donde se aplica más agua de lo requerido (preparación de terrenos), y se puede observar que los suelos son sobresaturados con el agua. Dependiendo de la disponibilidad de agua, la aplicación a los cultivos se realiza a veces con mucha agua, o con poca agua sin satisfacer la demanda.

Fortalezas y debilidades en el ámbito ambiental

La determinación de las fortalezas y debilidades del sistema de riego, están referidas en

la Figura 2. En presencia de los valores indicados, obtenidos del análisis y evaluación de la sustentabilidad en el ámbito ambiental.

Figura 2. *Sustentabilidad ambiental del sistema de riego Cotochullpa*



La oferta de agua, por su cantidad y calidad C1S1, con un valor alto (Figura 2) y se constituyen en una fortaleza. La diversidad pecuaria, repercute en la disponibilidad de alimentos (carne, huevos y leche), para los usuarios; así mismo las prácticas de prevención y conservación de suelos, el uso de insumos orgánicos y el manejo del agua en la parcela se establecen como debilidad del sistema de riego.

Sustentabilidad económico productivo

Rendimiento, ingreso familiar y relación beneficio costo

El rendimiento de los cultivos es el resultado de la conjugación de varios factores incluyendo el manejo, donde la habilidad y la experiencia del agricultor es determinante a la hora de enfrentar con las adversidades del sector, para lograr rendimientos que favorezcan a su economía.

Los rendimientos de los cultivos en el sistema de riego Cotochullpa, en comparación con los parámetros referidos a la región altiplánica, se encuentran por debajo de 24 t de zanahoria y 22 t de cebolla; según estudios realizados por Olivares et al (2007). Sin embargo, estas variables permiten obtener ingresos todavía favorables para los agricultores, por las estrategias de manejo dirigidas al riesgo climático y al mercado (siembras escalonadas), como uso de agroquímicos, con el fin de elevar los

rendimientos, dándole un nivel medio de sustentabilidad. Al respecto Aguilera (s.f.) señala como una condición de sustentabilidad del sistema productivo, es que la agricultura debe ser suficientemente productiva y económicamente rentable.

Ingreso por producción/familia

La estabilidad económica familiar depende de los ingresos que percibe una familia, fruto de actividades de producción agrícola. Estos ingresos deben permitir a la familia y satisfacer las necesidades de alimentación, educación, salud; como los principales derechos y acceso que tiene cada familia; pero no todas las familias logran satisfacer estas necesidades, ya que este logro dependerá del nivel de ingresos que generen las familias. Bajo este argumento se toma en cuenta la evaluación de la sustentabilidad de los ingresos por familia, tomando en cuenta los parámetros establecidos por el Instituto Nacional de Estadística (2000), que se basan en ingresos percibidos, lo cual designa el nivel de pobreza de las familias (Umbral de la pobreza, pobreza moderada, pobreza extrema e indigencia).

El ingreso económico percibido por familia/año, procedente de la producción agrícola, haciende a \$us 1308, lo que implica un ingreso mensual de \$us109 (tipo de cambio 1\$us = Bs 6,96) comparando con el salario mínimo nacional del 2016 de \$us 1440, es menor. Relacionando con los parámetros definidos por el INE- Bolivia (según los niveles de pobreza) y los ingresos percibidos por las familias, se encuentra categorizada como pobreza moderada.

La relación beneficio/costo en la producción agrícola, representado por los ingresos y egresos, requiere para su rentabilidad que los egresos sean menores que los ingresos, entonces surge la necesidad de utilizar los recursos de manera más eficiente lo que permitirá incrementos sustentables, conservando o disminuyendo la degradación de los recursos naturales. Con esta lógica se realiza el análisis de sustentabilidad para la relación beneficio costo del sistema de riego Cotochullpa, cuyo valor global es de 1,96, que supera la unidad lo que significa que el agricultor usuario recupera su capital invertido,

referido a sus costos de producción y además obtiene beneficios.

Autosuficiencia y vinculación comercial

Se ha identificado que el 75% de los insumos utilizados en la agricultura, depende del mercado externo en el sistema de riego Cotochullpa. Según las encuestas realizadas, todas las semillas y plántulas proceden de Cochabamba y de comerciantes peruanos o son adquiridas en ferias provinciales al igual que los fertilizantes, herbicidas e insecticidas.

El abono orgánico (estiércol) producido en la comunidad, solo alcanza al 10% de lo requerido. La maquinaria, para la preparación de los terrenos, el combustible para el uso de bombas son otros elementos externos que conllevan a un costo económico.

La mano de obra familiar no abastece para las diferentes actividades productivas y se ha podido evidenciar la presencia de mano de obra del interior del país, como Cochabamba, especialmente para la plantación de cebolla, deshierbe de los cultivos y cosecha, estimado en 70%.

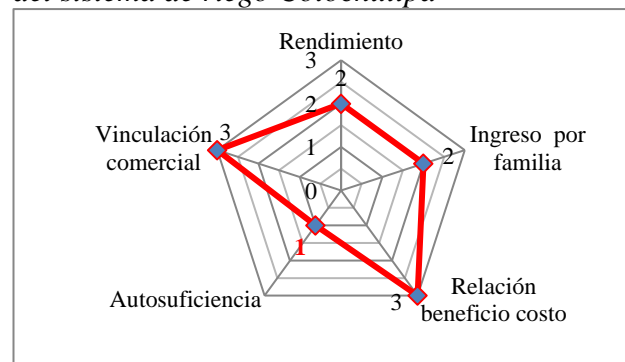
Al respecto Altieri y Nicholls, (2000), indican que la dependencia de insumos externos complica la sustentabilidad de los sistemas, del grado de dependencia dependerá la eficiencia del sistema. Bautista et. Al. (2004), aseveran que la dependencia de insumos debería depender de uno mismo, es decir del mismo sistema, por lo que sugiere generar tecnologías al interior del sistema, que hagan menos dependientes a los usuarios de insumos y recursos externos.

La vinculación comercial permite al agricultor contar y confiar en un mercado seguro o tener la oportunidad de comercializar sus productos. El sistema de riego Cotochullpa tiene mercados establecidos tanto en la zona y fuera de la región, como en las principales ciudades de los departamentos de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, donde cuentan con compradores fijos y estables. La vinculación caminera favorece a la comercialización de los productos ya que el sistema de riego está conectado a la principal vía del eje troncal del país, donde el acceso se halla en condiciones de transpirabilidad.

Fortalezas y debilidades del ámbito económico-productivo

Para la determinación de fortalezas y debilidades del sistema, se identificaron los indicadores que se enmarcan dentro los criterios de diagnóstico de productividad y dependencia de insumos externos.

Figura 3. *Sustentabilidad económico productivo del sistema de riego Cotochullpa*



El rendimiento, beneficio costo y la vinculación comercial son indicadores que llegan a constituirse como fortalezas en el ámbito económico - productivo.

Por otro lado, se observa que existe alta dependencia de recursos e insumos, agrícolas, estableciéndose en indicadores débiles, determinando los puntos críticos para la sustentabilidad del sistema.

Sustentabilidad en la gestión del agua

Disponibilidad de agua en la parcela: Derechos y acceso al agua de riego, infraestructura, distribución y reparto del agua, infraestructura de riego, mantenimiento

La valoración de los indicadores dentro el criterio de disponibilidad del agua se observa en la Figura 4.

El análisis de la sustentabilidad de los derechos y acceso al agua de riego condiciona la disponibilidad del agua en la parcela. El derecho al agua corresponde a la familia, sin restricción de género ni generación, las mujeres hijas pueden o tienen acceso al agua de riego cuando estas ya han formado otra familia, pero a través de ellas y no así del esposo. Los derechos están registrados a nombre del padre o jefe de familia, este derecho está traducido en 12 horas de turno, para todos los

usuarios (distribución de turnos igualitaria). Por otra parte, es permitido que el padre o titular otorgue al hijo “casado” parte de su terreno y parte del turno de agua que corresponde al padre (titular).

El acceso al agua no corresponde solo a las familias que pertenecen a la comunidad si no también aquellas familias que por alquilarse el terreno tienen acceso al agua que va ligado al turno de riego del usuario titular, mostrando flexibilidad con usuarios temporales.

La incorporación de la infraestructura de riego como parte del sistema de producción, medio de transporte del agua desde la fuente a la parcela, otorga mayor dinámica productiva al sistema de riego, que permite generar estabilidad y confianza en la producción y la economía de los agricultores; sin embargo, esta confianza y estabilidad puede verse amenazada por el grado de deterioro de la infraestructura.

El estado de la infraestructura de riego es importante ya que repercute en el proceso productivo, económico y social del sistema. Al respecto Montaño y Salazar (2002), menciona que el estado en que se encuentra la infraestructura, condiciona la responsabilidad del agua en la parcela. Por su parte Pavon (2003), indica que el agua es un medio de producción, que permite cultivar alimentos y su aprovechamiento está sujeto a la infraestructura. Estas aseveraciones son preocupantes ya se evidencia una infraestructura deteriorada en el sistema.

Los usuarios del sistema tienen amplia experiencia en la distribución del agua que considera los derechos constituidos en turnos de tiempo de 12 horas, donde la organización elabora las listas de reparto tomando en cuenta la fuente principal (Galería filtrante) y fuentes secundarias. El reparto se realiza en pares denominándose al par de uno “Chulla” donde la autoridad vigente tiene a su chulla que es la autoridad saliente, con un caudal que se divide entre dos, este par da inicio al riego; en este sentido cada año van rotando los pares con sus chullas.

Este sistema de reparto permite transparentar la distribución del agua, y practicar con equidad el riego, dando la oportunidad para poner en la práctica su derecho y acceder al agua de riego. En el reparto del agua de riego se advierte dificultades, por las condiciones en la que

se encuentra la infraestructura, que es compensado por la flexibilidad que se muestra cuando se permite que otras familias arrendatarias accedan al agua por medio del turno de riego del titular (arrendador), y a través del ayni permiten el acceso al agua, cuando existe necesidad de aplicar el agua al cultivo (fuera de turno) y garantizar de esta manera la producción. Al respecto Pavón (2003), indica que el agua es un medio de producción, que permite cultivar alimentos, su aprovechamiento está sujeto a la infraestructura.

Los derechos están plenamente constituidos, existe flexibilidad para acceder y hacer uso del agua. Pavon (2003), confirma que no hay conflictos cuando existe una igualdad de derechos y distribución justa que pone en manifiesto satisfacción de necesidades.

La infraestructura de riego tiene más de 20 años y se nota el deterioro por falta de mantenimiento y no hay señales de reparación de las partes dañadas; este hecho ha influido en la operación de la infraestructura, ya que se ha evidenciado fugas en diferentes partes.

La actividad de mantenimiento está relacionada con la limpieza de los canales y el encauce del río hacia la captación del agua para riego, la limpieza de los sedimentos en los canales revestidos y la alineación de los taludes en canales de tierra, son actividades principales en la infraestructura. Esta actividad se realiza en dos oportunidades: el primero al inicio de la campaña agrícola, para la preparación de suelos y siembra, entre los meses de junio y julio y la segunda en la etapa de desarrollo de los cultivos, el mismo se considera como mantenimiento rutinario, insuficiente para conservar la infraestructura.

La falta de reparación de las partes afectadas (según testimonios de usuarios), se debe a que no existieron personas encargadas para realizar dicha actividad; por lo tanto, el usuario que le toca el turno de riego debe arreglar para lograr conducir el agua hasta su parcela, utilizando para esto vegetales, trapos y barro.

Las diferentes partes de la infraestructura, se encuentran demasiado dañadas, desde la obra de toma, canales y las compuertas, que influye en la operación, el reparto del agua y la eficiencia total del sistema. Al respecto Montaño y Salazar. (2002), manifiestan que las actividades de mantención de la infraestructura aseguran su

eficiencia operativa y seguridad de manipuleo, lo cual puede prolongar la vida útil y desempeño adecuado del sistema.

De acuerdo a lo descrito sale a la vista que existe un gran vacío que deja entrever la falta de mantenimiento de la infraestructura y la falta de organización para encarar este tipo de trabajos.

Nivel de organización: Organización, desempeño de la organización en la gestión de riego

El sistema de riego no cuenta con una organización específica para el riego, la organización comunal sindicalizada es la encargada de todas las gestiones de la comunidad que involucra al riego; siendo el agua un mecanismo de cohesión para la participación de los miembros de la comunidad en las diferentes actividades de riego.

La organización a través de su directorio tiene la facultad de convocar a asambleas mensuales (primer sábado de cada mes), donde presta un informe de las actividades realizadas en ese transcurso, cuenta con recursos económicos provenientes de cuotas y otras generadas por la venta de agregados.

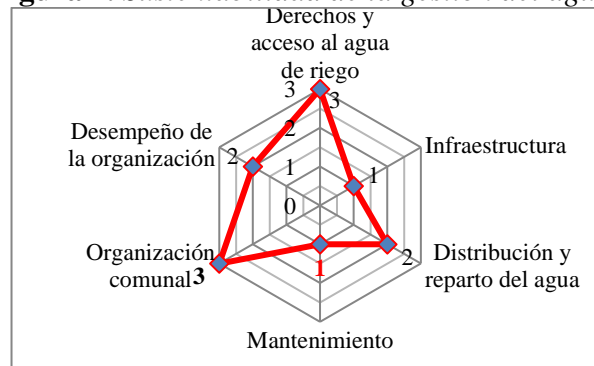
La organización desempeña sus funciones en el marco del respeto mutuo y de las buenas costumbres, la base normativa es la trayectoria de anteriores autoridades, normas de conductas que permitan darle jerarquía y respeto, no se cuenta con estatutos ni reglamentos tampoco con manuales de operación ni mantenimiento. Las actividades programadas están plasmadas en actas y tienen sus propios mecanismos de control, los mismos han llegado a instituirse.

La continuidad a las actividades emprendidas por las autoridades salientes, la transparencia, la forma de decisiones y su autonomía, son cualidades de la organización, que permiten dar a la comunidad estabilidad y confianza para el logro de su interés.

Por otra parte, el análisis de sustentabilidad de la organización, en función a su desempeño en la gestión de riego, se destaca lo

siguiente: cumplimiento de actividades, respuestas rápidas y directas a las necesidades de los usuarios, aunque con algunas dificultades a la hora del reparto del agua, pero existe carencias de normativas y reglamentos para una mejor gestión.

Figura 4. Sustentabilidad de la gestión del agua



Fortalezas y debilidades del ámbito gestión del agua

Los derechos, acceso al agua de riego y la organización comunal se constituye en fortalezas, donde la equidad y la transparencia son atributos del sistema; sin embargo, la condición actual de la infraestructura afecta la disponibilidad de agua en la parcela; esta realidad es un indicativo para validar la infraestructura y el mantenimiento como un indicador débil.

Determinación de indicadores estratégicos de sustentabilidad del sistema de riego

La Tabla 4 muestra la valoración de los diferentes indicadores de sustentabilidad.

Después del análisis de sustentabilidad en los diferentes ámbitos y criterios de diagnóstico se han identificado 20 indicadores estratégicos, enmarcados en nueve criterios de diagnóstico. De estos indicadores cinco son de alta sustentabilidad y siete de baja sustentabilidad y el resto corresponde a la sustentabilidad media (ocho). La selección de estos indicadores evidencia la fortaleza y debilidad del sistema de riego Cotochullpa.

Tabla 4. Resumen valorativo de la sustentabilidad de los indicadores

Ámbito	Atributos	Criterios de diagnóstico	Indicadores	Valor	
AMBIENTAL	Estabilidad Confiabilidad Adaptabilidad Resiliencia	Oferta de agua	Cantidad (variabilidad temporal),	3	
			Calidad del agua		
			Riesgo de contaminación		
			Disponibilidad de suelos	Área de riego	2
				Calidad de los suelos (Químicos, físicos, biológicos)	
				Agro biodiversidad	
	Resiliencia	Prevención de riesgos		Diversidad de especies agrícolas	2
				Diversidad de especies pecuarias	
				Prácticas de conservación y regeneración de suelos	
				Uso de recursos e insumos Orgánicos	
			Manejo del agua en la parcela	1	
VALOR DE LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL (MEDIA)			15/9	1,6	
ECONÓMICO- PRODUCTIV O	Productividad	Eficacia y eficiencia productiva	Rendimiento	2	
			Ingreso económico por familia		
	Estabilidad Autosuficiencia	Dependencia	Relación Beneficio/costo	3	
			Autosuficiencia (Dependencia de recursos e insumos externos)		
			Vinculación comercial		
VALOR DE LA SUSTENTABILIDAD ECONÓMICO PRODUCTIVO (MEDIA)			13/5	2,2	
GESTIÓN DEL AGUA	Equidad y Autogestión	Disponibilidad de agua en la parcela	Derecho y acceso a la fuente y uso de agua en el riego.	3	
			Nivel de organización		
				Infraestructura de riego (condición y funcionalidad)	1
				Distribución y reparto del agua	
				Mantenimiento	
				Organización	
				Organización de la gestión de riego	
VALOR DE LA SUSTENTABILIDAD SOCIO TÉCNICA (MEDIA)			12/6	2,0	
TOTAL, SUSTENTABILIDAD DEL SISTEMA				1,9	

La oferta de agua (calidad y cantidad) se constituye en una fortaleza para el sistema de riego, junto al indicador relación beneficio costo que pone en evidencia a la agricultura intensiva, con el uso de productos agroquímicos como: herbicidas, insecticidas y la aplicación de fertilizantes, que trata de sustituir la mano de obra y disminuir los costos de producción para elevar la productividad, principalmente con la aplicación de herbicidas que disminuye el deshierbe manual en los cultivos de cebolla y zanahoria, contribuyendo a la eficiencia productiva pero afectando negativamente al medio ambiente y fundamentalmente la calidad de los suelos.

Por otra parte, la vinculación comercializar se constituyen en una fortaleza, toda vez que existe mercados ya consolidados y un acceso de vinculación hacia ellos (carretera asfaltada), que permite trasladar sus productos a

los diferentes mercados, lo que favorece al ámbito económico.

En el ámbito de la gestión del sistema de riego los derechos y el acceso al agua de riego de los usuarios se consolidan, adquiridos de manera igualitaria y una organización comunal establecida bajo el principio de servicio a la comunidad, con una gestión autónoma.

Al respecto Vásquez, et al. (2002), mencionan que la principal preocupación de la agricultura productiva está relacionada con un suministro de agua eficiente y eficaz, que llegue con facilidad a los campos de cultivo. Por otra parte, Gomez (2009), se refiere a la calidad del agua y es fundamental en la producción; estos indicadores contribuyen a la sustentabilidad alta del sistema de riego analizado.

Por otra parte, Acosta, et al. (s.f) mencionan que un sistema de riego sustentable, no debe generar pérdidas y la relación (B/C) debe ser igual o mayor a uno; comparando con el valor

obtenido 1,96, en el análisis del sistema de riego, significa que la actividad productiva es aconsejable. la ubicación de los centros de producción con vías de comunicación, en buen estado y accesibles que vinculan con los mercados, contribuye a la sustentabilidad económica.

El derecho y acceso al agua de riego, según Salazar (2010), denota seguridad que, vinculado a estrategias, dan la posibilidad de utilizar el agua a las familias, al margen de los turnos establecidos. Por su parte Gutiérrez (2006), menciona que la organización del riego, está basada en los derechos al agua, éstos establecen las normas para que un sistema de riego funcione de manera autogestionaria. Lo mencionado corrobora los resultados del análisis del sistema de riego, donde los derechos y acceso al agua de riego son fundamentales junto a la organización comunal, estos indicadores garantizan el uso del agua.

La baja sustentabilidad del sistema está relacionada con los indicadores de diversidad pecuaria, las prácticas de conservación de los suelos, el uso de insumos orgánicos y el manejo del agua; estos indicadores ponen en situación de riesgo al sistema, la mejora de estos indicadores contribuirá a la conservación del medio ambiente.

Considerando lo mencionado líneas arriba, Altieri (1999) menciona que la actividad pecuaria, contribuye a la sustentabilidad del predio, aprovechando de manera óptima la transformación de los productos y subproductos agrícolas en carne, leche, huevos y al aportar materia orgánica para mejorar la calidad del suelo y el nivel productivo del sistema. Lo que no se observa en el sistema de riego analizado.

Los problemas de sustentabilidad, según Tolón y Lastra (2007-2008), están vinculados principalmente al deterioro de la calidad del suelo, las prácticas de mejorar la fertilidad de suelos y pueden impactar de manera negativa en el sistema de riego. Por otra parte, Altieri y Nicholls (2000), mencionan que el uso de estiércol, rastrojos, malezas y pastoreo puede subsidiar el funcionamiento del agroecosistema, estas aseveraciones permiten reflexionar y determinar que es necesario realizar prácticas de conservación para contribuir a la sustentabilidad.

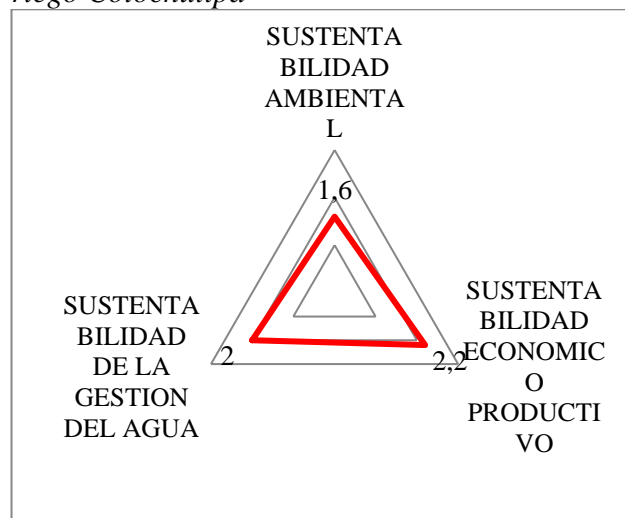
Un buen manejo del agua en la parcela, según Pavón. (2003) permite optimizar el uso de

este elemento evitando la erosión del suelo, el lavado de nutrientes, la salinidad, elevación del napa freática y pérdida del agua por percolación, infiltración o escurrimiento. Lo mencionado justifica la condición en la que se encuentra el área de riego del sistema y se debe principalmente al mal manejo del agua que está ocasionando erosión en los suelos.

Por otra parte, se conoce que existe una alta dependencia de insumos externos, la condición de la infraestructura y el mantenimiento; son indicadores que afectan al buen desempeño del sistema, lo que es corroborado por Altieri y Nicholls (2000), quienes manifiestan que la dependencia de insumos externos, complica la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola. Por otra parte, Montañó y Salazar (2002), menciona que la condición de la infraestructura y la falta de mantenimiento puede reduce su vida útil y afectar la disponibilidad del agua para el riego; por lo tanto, afecta a la eficiencia operativa e inseguridad del desempeño de los diferentes componentes de la infraestructura.

La Figura 4, muestra las condiciones de sustentabilidad del sistema de riego Cotochullpa en los tres ámbitos, obtenidos después de la ponderación de los diferentes indicadores y se determina que la sustentabilidad del sistema es 1,9 considerada media o moderada. Lo que implica considerar los indicadores de bajo nivel (siete en total), deben considerarse para mejorarlos y contribuir a mejorar la sustentabilidad del sistema.

Figura 5. Nivel de sustentabilidad del sistema de riego Cotochullpa



Conclusiones

Ámbito ambiental

La oferta del agua en la fuente (sub cuenca del río Paria), varía según la época (lluvias y estiaje); el análisis reporta buena calidad del agua (CIS1), lo que permite el uso sin restricciones en el riego y determina alta sustentabilidad.

El área regada depende de la oferta y la disponibilidad de agua, los suelos han sufrido cambios cuantitativos y cualitativos: la textura ha cambiado de franco arcilloso a franco arcillo limoso, la salinidad ha disminuido, el pH se ha incrementado de 7,9 a 8,2; los principales nutrientes y la materia orgánica se han incrementado favorablemente; pero aún no alcanzados niveles adecuados para la producción agrícola. Este indicador tiene un nivel medio de sustentabilidad.

Existe un riesgo moderado de contaminación del agua, debido al uso de agroquímicos en sistemas de riego ubicados aguas arriba del sistema de riego Cotochullpa, determinando una sustentabilidad de nivel medio.

La producción pecuaria su diversidad y tamaño, está en función de la disponibilidad de forraje, espacios y mano de obra para el pastoreo que son escasos, condición que determina un bajo nivel de sustentabilidad.

La práctica de prevención, conservación y regeneración de los suelos consisten solo en la rotación de cultivo que se realiza entre la cebolla, la zanahoria y la cebada que pone a este indicador en un nivel bajo de sustentabilidad.

Ámbito económico productivo

La eficiencia productiva advierte la relación beneficio/costo, mayor a la unidad; este valor concede al sistema un “alto valor productivo”, estableciendo un nivel alto de sustentabilidad para este indicador.

El sistema de riego es altamente dependiente, 75% de los recursos utilizados en la producción provienen de otros lugares fuera de la comunidad, otorgándole un nivel de baja sustentabilidad.

Existe una vinculación comercial establecida con mercados para la venta de sus

productos agrícolas en las principales ciudades del eje troncal del país (La Paz Cochabamba y Santa Cruz). La ubicación estratégica del sistema de riego (próximo a la carretera Oruro-Cochabamba), permite sacar los productos de la comunidad, lo que indica un nivel de alto sustentabilidad.

Ámbito gestión del agua

Los derechos y acceso al agua de riego están definidos en turnos de 12 horas por usuario, que garantiza el uso del agua por los usuarios en la producción agrícola, lo que establece una fortaleza que contribuye a un nivel alto de sustentabilidad.

La infraestructura de riego se encuentra deteriorada afectando la disponibilidad de agua en la parcela por falta de mantenimiento, esta situación determina un bajo nivel de sustentabilidad.

La organización es legítima, existe continuidad y disponibilidad de recursos, las decisiones administrativas son autónomas, tienen acuerdos establecidos para las actividades del riego, otorgando a este indicador alta sustentabilidad.

La organización en la gestión del agua, no ha logrado alcanzar un buen desempeño, existe carencias de normativas, reglamentos y planes para encarar diferentes actividades vinculadas al riego, lo que implica un nivel medio de sustentabilidad.

Fortalezas y debilidades del sistema de riego

Se identifican cinco indicadores como fortalezas para del sistema de riego Cotochullpa, determinados por su alta sustentabilidad, representados por: la cantidad y calidad del agua en la fuente, la relación beneficio/costo, la vinculación comercial, los derechos y acceso al agua de riego y la organización comunal.

Por lo tanto, es necesario considerar un plan de acción sobre los niveles bajos de sustentabilidad, que permita mejorar el desarrollo económico productivo del sistema, el bienestar social, bajo una gestión de agua equitativa, autogestionaria, sostenible y conservación del medio ambiente.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, P., Gómez, N., & Marquez, G. (2011). *Evaluación de proyectos por medio de análisis de costo beneficio*. Universidad Nacional Experimental Politécnica. Puerto Ordaz. Venezuela.
- Aguilera S.G. (s.f). *La producción agrícola y la sostenibilidad ambiental*. Facultad de Ciencias Agrícolas, UAGRM (Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno).
- Altieri, M. (1999). *The ecological role of biodiversity in agroecosystems: Agriculture ecosystems & environmet*. Department of environmental Science, Policy and Management, Univerisitiy of California.
- Altieri, M.A., & Nicholls, C.I., (2000). *Agroecológica: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). <https://bit.ly/3R4kCEQ>
- Altieri, M.A., y Nicholls C.I. (2007). *Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: Teoría estrategias y evaluación. ecosistemas*. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente Universidad de California, Berkele y Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Bautista, et al. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. Departamento de Recursos. <https://bit.ly/2R1w7xE>
- Instituto Nacional de Estadísticas. INE. (2000). Informe económico. <https://bit.ly/3RdQC9w>
- Gutierrez, Z. (2006). *Riego campesino y diseño compartido. Gestión local e intervención en sistemas de riego en Bolivia*. Univerisdad de Wageningen/ IWE. Los países Bajos. Instituto de Estudios Peruanos
- Masera, et al. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El Marco de Evaluación MESMIS*. GIRA Mundi Prensa. <https://bit.ly/3SwxQey>
- Montaño, H y Salazar, L. (2002). *Gestión campesina y diseño de sistemas de riego CAT-PRONAR*.
- Olivares, R., Colque, L., & Jauregui, P. (2007). *Efecto del riego en los ingresos de las familias campesinas*. Programa de Desarrollo Agropecuario Sostenible GTZ-PRONAR UCORDE. <https://bit.ly/3LHux21>
- Organización Mundial de la Salud. (s.f). *Eris método para determinar el riesgo de contaminación de un sistema acuífero*. Caso Valle de Zaachila, Oaxaca.
- Plan Departamental de Riego. (2004). Prefectura del Departamento de Oruro. Servicio Departamental de Riego.
- Pavon, J. (2003). *La sostenibilidad de la producción agroecológica, Estudio realizado en predios de Toacazo y Pimampiro*, Ecuador.
- Salazar, L., Saravia, R; & Rafael, R. (2010). *Sustentabilidad y autogestion de sistemas de riego. Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable PROAGRO*.
- Tolon, B.A., & Lastra, B. T., (2007-2008) *Desarrollo en espacios rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores*. Conclusiones del I y II Seminarios Internacionales de cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e Indicadores. Universidad de Almería. España <https://bit.ly/3R9wMfJ>
- Vásquez, A et al. (2002). *Manejo de cuencas alto andinas*. Universidad Nacional Agraria la Molina Perú 513p.
- Villarrol, A. G. (1998). *Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio*. Universidad Mayor de San Simón. AGRUCO. Serie Técnica N°10. <https://bit.ly/3LMR11F>.

Estrategia de manejo de la Cuenca de Quinuamayu del municipio de Llallagua provincia Rafael Bustillo del departamento de Potosí Bolivia

Valentín Loredo Gareca¹

¹*Docente titular, Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional "Siglo XX", loredogarecav@gmail.com*

Resumen

La cuenca de Quinuamayu ubicada en el municipio de Llallagua, Norte de Potosí, Bolivia, acumula aguas del río Camiri de caudal variable según la época. Abastece aguas a la población urbana de Llallagua que comprende; Siglo XX, Catavi y los Ayllus de Chullpa y Sicoya. La micro Cuenca Quinuamayu presenta las siguientes características: Pendiente 9,31%, perímetro 17,35 km, área de la cuenca 13,95 km² y longitud del cauce principal de 5,7 km. Este trabajo conlleva una visión de largo plazo donde las estrategias principales son: mejoramiento y manejo de praderas en cinco áreas que comprende una superficie de 9,453 km² aproximadamente, forestación en seis áreas erosionadas entre los 4400 a 4515 m.s.n.m., implementación de terrazas de formación lenta en cinco áreas entre los 4100 a 4200 msnm e implementación de diez y ocho cárcavas.

Palabras Claves: CANAPAS, CADES

Abstract

The basin of Quinuamayu this located in the municipality of Llallagua, North of Potosí, Bolivia, accumulates waters of the river Camiri of variable flow according to the time. It supplies water to the urban population of Llallagua that understands, XX Century, Catavi and Ayllus of Chullpa and Sicoya. Cuenca Quinuamayu presents the following ones characteristic: Slope 9,31 %, perimeter 17,35 km, area of Cuenca 13,95 square kilometers and longitude of the main bed of 5,7 kilometers. This work bears a vision of long term where the main strategies are: improvement and handling of prairies in five areas that he/she understands a surface of 9,453 kilometers squared approximately, forestation in six areas erosinadas among the 4400 to 4515 m.s.n.m., implementation of terraces of slow formation in five areas among the 4100 to 4200 m.s.n.m. and implementation of ten eight cárcavas.

Keywords: CANAPAS, CADES

Introducción

Bolivia geográficamente se divide en tres macro regiones las que incluyen las cordilleras occidental, central y oriental (Figura 1), por consiguiente, El Altiplano se ubica entre la cordillera occidental y central, con una altura promedio de 3.800 m, cerca de 800 km de largo y 130 km de ancho en promedio, presenta climas que varían desde árido a semiárido.

El departamento de Potosí ubicado en el altiplano con una fisiografía montañosa que, según su altitud, se encuentra entre los rangos de altitud 3.500 – 4.500 msnm. En la puna albandina, las extensiones de tierra son mayores, por lo general de propiedad comunal y con cobertura de especies nativas destinadas a campos de pastoreo.

Entre tanto, la región altiplánica del municipio de Llallagua, presenta mosaicos de ecosistemas diversos, siendo las zonas de transición con gradientes muy pronunciadas de cobertura vegetal partiendo de la puna de altura, entrando a paisajes de montaña áridas y semiáridas descendiendo hacia los valles mesotermicos.

La región altiplánica tiene limitada vocación agrícola. Esto se da por las limitaciones edafológicas y ecológicas en sus diversas regiones, donde las serranías son ecosistemas y espacios de vida frágiles, particularmente, vulnerables al cambio climático y susceptible de erosión acelerada por sus condiciones biofísicas, socioeconómicas e institucionales

Los recursos hídricos que nacen en las montañas forman ríos con escaso caudal, ellas van creciendo para formar la micro cuenca del río Ventilla, la misma que va aportando al río Chayanta luego, ella al río Caine para desembocar en la cuenca del Amazona.

En el área de estudio, el ecosistema se caracteriza como región muy vulnerable a la erosión hídrica debido a varios factores climatológicos como antrópicos, sin embargo, su importancia radica en que sus caudales aportan a la represa de Quinuamayu, que a lo posterior se convierte en un recurso de consumo como agua potable para los habitantes de la población urbana de Llallagua

De acuerdo con el mapa ecológico de Bolivia, la región de estudio corresponde a montaña tropical y a la región de altiplano norte, de acuerdo al mapa climático, clasificado según el sistema Köppen (1936), el clima de la región corresponde a mesotérmico de estepa (ET), con invierno seco y frío, de los índices de humedad, aridez e hídrico, puede concluirse que el clima es del semiárido, meso térmico, con deficiencia de agua en verano e invierno, nula o baja concentración térmica en la estación caliente.

La zona está comprendida dentro la cordillera central de los Andes, caracterizado por una estación de lluvias de noviembre a marzo y otra seca de abril a octubre. Por lo que, presenta una precipitación media anual de 534,63 mm y una temperatura media anual de 9,98°C.

La represa de Quinuamayu, es una infraestructura que almacena el recurso hídrico de 300.000 m³ durante el período de precipitación pluvial, que abarca en los meses de noviembre a marzo, debido al tipo suelo, el área de la cuenca, la pendiente, muestra una gran presencia de erosión hídrica, desde las formas más avanzadas que son la cárcavas profundas hasta la erosión laminar, este fenómeno es completamente adverso, cuando el agua tiene presencia de material disuelto que va a depositarse en la represa en un 5% de su capacidad (15.000 m³ de sedimento anual), y más aún cuando es destinado al consumo humano (caudal de suministro 15 l/s).

Los datos emitidos de los análisis de laboratorio respecto a la calidad del agua de la fuente en estudio, nos muestra grandes diferencias, el pH 7,87 tendiente a alcalino determinado por el material disuelto que tiene, la turbidez es 18,66 NTU (unidades nefelométricas de turbiedad), que según normas no debe ser mayor a 5 NTU. (Ceherka, 2003).

El objetivo general de la investigación fue plantear un Sistema de Mapeo agrostológico para el control de la erosión hídrica en la cuenca de Quinuamayu mediante el mejoramiento y manejo de praderas nativas a través de la implantación de masas boscosas, formación de terrazas y control de cárcavas para reducir el transporte de sedimentos hacia el embalse, con fines de mejoramiento de la calidad del agua con destino al consumo de los habitantes de la ciudad de

Llallagua y así evitar enfermedades gastrointestinales y otros.

Los objetivos específicos propuestos fueron:

- Determinar el estado de deterioro ecológico de las CANAPAS del área de estudio, para implementar un sistema de mejoramiento, a través de un plan de manejo de praderas.
- Delimitar áreas degradadas por erosión, para Implementar rodales forestales con especies exóticas y nativas.
- Delimitar las áreas de CADES para plantear un sistema de control de erosión por terraceo y en los cauces y cárcavas un sistema de control de la erosión a través de prácticas mecánicas. (gaviones, diques, etc).

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El municipio de Llallagua se halla ubicado en el norte del departamento de Potosí, entre los paralelos 18° a 19° de latitud Sur y 66° y 67° de longitud Oeste, a 95 km de la ciudad de Oruro. Limita al norte con el municipio de Caripuyo al oeste con el municipio de Chayanta, al sur con el municipio de Uncía y al oeste con los municipios de Poopo y Huanuni del departamento de Oruro. Según el PDDI se constituye casi del 25% del territorio de la provincia Bustillo, que, a su vez tiene una superficie de 2.211,19 km², su altitud fluctúa entre 3.250 y 4.500 msnm.

La cuenca de Quinuamayu, se encuentra dentro el ayllu Chullpa, cabildo Janko Calani, del municipio de Llallagua, la presa Quinuamayu se ubica en las cercanías de la estancia Athata zona de quinua pampa, acumula las aguas del río Camiri (Athata) de régimen permanente pero variable en su caudal según la época de lluvia o estiaje, y abastece agua potable a la población de Llallagua.

La cuenca aportante tiene un área de aproximadamente 13,8 km²; el principal acceso es por la vía carretera que vincula Llallagua con Oruro a la altura de 7 km. se toma un desvío por la quebrada de Chocopatilla hasta llegar, a la comunidad de Quinuamayu, la topografía de la región es accidentada, con pendientes

predominantes de 70 a 80%. Pertenece a la cordillera de los Azanaques, componente del Macizo Oriental de los Andes. (Loredo, V. y Zambrana, R. 2012)

La población urbana de Llallagua, comprende aproximadamente el 54% de la población total (36.909 habitantes), en las que están insertas las poblaciones de Siglo XX, Catavi, ayllu Chullpa y Sicoya respectivamente.

Para la ubicación y definición del área de estudio, así como para la delimitación de la cuenca del proyecto, se utilizó Plano del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50.000, correspondiente a Uncía N° 6238-1. (Figura 2). La superficie del piso ecológico comprendido a las cotas 4.100 a 4.300 m de altitud, donde las características geológicas más representativas que afloran en el sector de estudio son de origen cenozoico, que pertenecen a la era cuaternaria con deposición coluvio-fluvial (Qcf), la roca subyacente es pizarra en descomposición de lutitas, en las cuales, predominan las gravas, arenas, limos y arcillas.

Las unidades geológicas descritas en el sector de la presa, son suelos de textura franco arcillo arenosa, con buena permeabilidad y profundos de deposición coluvio fluvial, de manera general, los suelos por su pendiente elevada, son muy erosivas, dejando cantidades estimables de sedimento en el vaso de la presa, además de las crecidas de cada una de las diferentes micro cuencas que forman la sub cuenca de Quinuamayu.

En la cuenca, es reducida la presencia de especies vegetales, los bofedales se encuentran representados por chiji (*Muhlerbergia fastigiata*, *Distichis humilis* y *Festuca dolichopylla*), esta asociación muestra peligro de descomposición, la paja brava (*Festuca orthophylla*), es la que predomina en la parte superior del área de estudio, añahuayos (*Adesmia miraflorensis*), yareta (*Azorella sp.*), thola (*Bacharis incarun*), son las especies vegetales de mayor presencia, sin embargo existe mucha superficie desnuda, a causa de quemadas realizadas.

Metodología

El planteamiento de la propuesta, consideró las experiencias y propuestas realizadas

en anteriores gestiones por la EPSA Bustillo SAM, el CEHERKA y estudios preliminares de gtz/PADEP; la misma que, sobre la base de mapas cartográficas e imágenes satelitales, se pudo plasmar la presente propuesta bajo el siguiente plan de ejecución

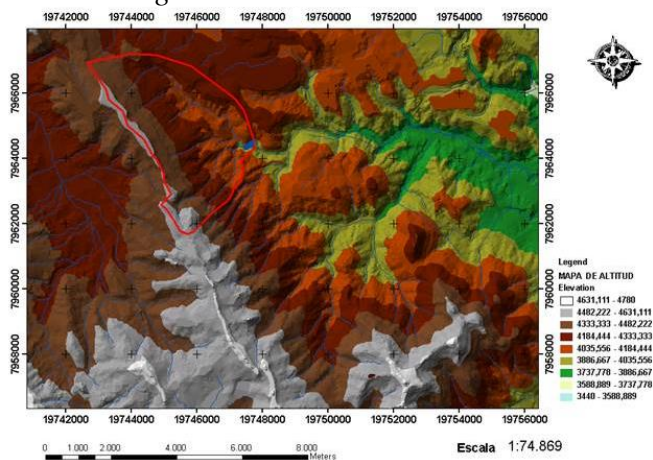
Revisión de información secundaria

Las primeras acciones que consideramos en la presente propuesta fueron estructurar el estado de avance logrado sobre la represa y la cuenca de Quinamayuyu respectivamente.

Delimitación del área de estudio

Con apoyo del mapa cartográfico del IGM escala 1:50.000 y la imagen satelital LANSAT 30 2008 (Figura 1) inherentes al área de estudio.

Figura 1. Imagen satelital con modelo de elevación digital



Además de un recorrido in situ de la cuenca; y con apoyo del programa ARCVIEW, consideramos la ejecución del trabajo de Sistema de Información Geográfica (CIPE, 2009), bajo el siguiente detalle:

- Geo referenciación del área de la cuenca.
- Determinación de las áreas de pastoreo como zonas de interés para la implementación del sistema de mejoramiento y manejo de la pradera nativa.
- Delimitación de áreas destinadas a la implantación de rodales forestales y protección en riveras de los ríos como setos vivos.

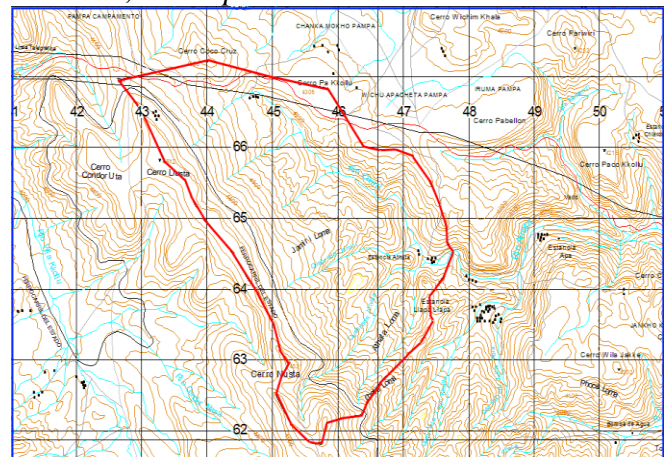
- Delimitación de áreas agrícolas con pendientes elevadas con fines de implementación terrazas de formación lenta.
- Delimitación de cárcavas con fines de implementación de sistemas de control mecánico (diques y muros de contención, gaviones, disipadores de corriente).

Resultados y Discusión

Características y área de la cuenca hidrológica

Una vez importado al programa ARCVIEW la carta geográfica N° 6238-1 Uncía (CIPE, 2009); se inició con la digitalización perimetral del área de la cuenca; en la misma, geo referenciamos bajo las siguientes coordenadas Este de 742645 a 747729 y Norte de 7961751 a 7967047 en sistema métrico DATUM WGS84 para la zona 19.

Figura 2. Área de la cuenca en km², según Plano del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50.000, correspondiente a Uncía N° 6238-1.



Según la Figura 2, el área total de la cuenca del río Quinamayuyu, hasta la presa es de 13,950 km², con un perímetro de 17,35 km, y conforme a la elevación sobre el nivel del mar va desde 4.000 a 4.531 m.

Cruz, R (2006), utiliza una serie de ecuaciones para estimar la erosión hídrica en la micro cuenca Quinamayuyu, la misma que permite complementar el presente trabajo, considerando el uso de las siguientes ecuaciones:

$$cc = \frac{(0.282 * P)}{A^{1/2}} \quad (1)$$

Dónde:

cc: coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (17,35 km).

A: Área de la cuenca (13,950 km²)

Resulta ser de forma asimétrica con un valor $1,279 > 1$, el cual, indica que la concentración de las aguas de precipitación es muy lenta.

$$S_c = \frac{(H_{\max} - H_{\min})}{L_{cp}} * 100 \quad (2)$$

$$S_c = \frac{(4531 - 4000)}{5700} * 100 = 9.31 \%$$

Donde:

Sc: Pendiente del cauce principal

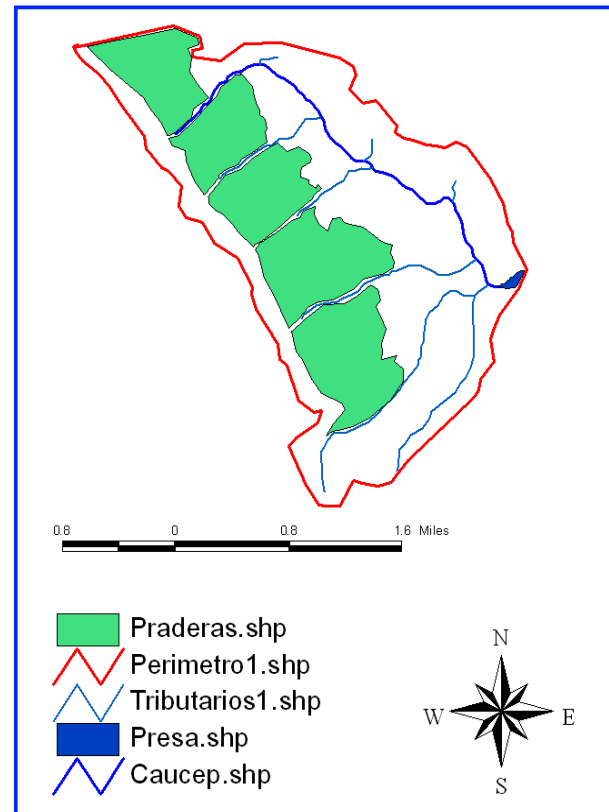
Lcp: Longitud del Cauce y colector principal (5,7 km).

Mejoramiento y manejo de la pradera nativa

Los Campos nativos de pastoreo (CANAPAS) o zonas de pastoreo del área de estudio, están ubicados en las zonas altas que van desde los 4.200 a 4.400 m.s.n.m. según el proceso de digitalización realizado y verificado en campo; se han identificado cinco áreas en el margen derecho y un área en el margen izquierdo con un total de 9,453 km², según la Figura 3.

Sobre la base del diagnóstico inicial, y una vez ubicada las áreas de pastoreo con especificidad para ganado camélido; se propone someter a un sistema de mejoramiento físico y biológico con tratamientos específicos recomendados por (Pérez, V. 2009); para luego iniciar con un sistema de manejo de la pradera nativa, con énfasis en el sistema de pastoreo extensivo; bajo estas características se prevé reducir la degradación hídrica en los siguientes años.

Figura 3. Áreas de CANAPAS en km²



Forestación y re forestación de áreas erosionadas

La descripción de la cuenca en función a la pendiente del cauce principal y los afluentes, permiten observar superficies desprovistas de vegetación; por lo que, se decidió delimitar estas áreas con fines de implementar rodales forestales.

Sobre la base del área de la cuenca, se procedió con la digitalización de las áreas destinadas a la formación de rodales forestales, específicamente en las zonas altas, según la Figura 4, ubicamos entre los 4.400 a 4.515 msnm, seis áreas con fines de reforestación, en zonas áridas y rocosas y con pendiente pronunciada; para la misma se pretende incorporar especies nativas recomendadas por (Zeballos, M. et al 2003) como la Queñua (*Polilepis sp*), Kiswua (*Buddelia sp*) y Thola (*Lepidophyllun cuadrangulare*). La forma del plantado será utilizada el método de tres bolillo, con lado triangular de 3 m.

Figura 4. Áreas de formación de rodales forestación en km²

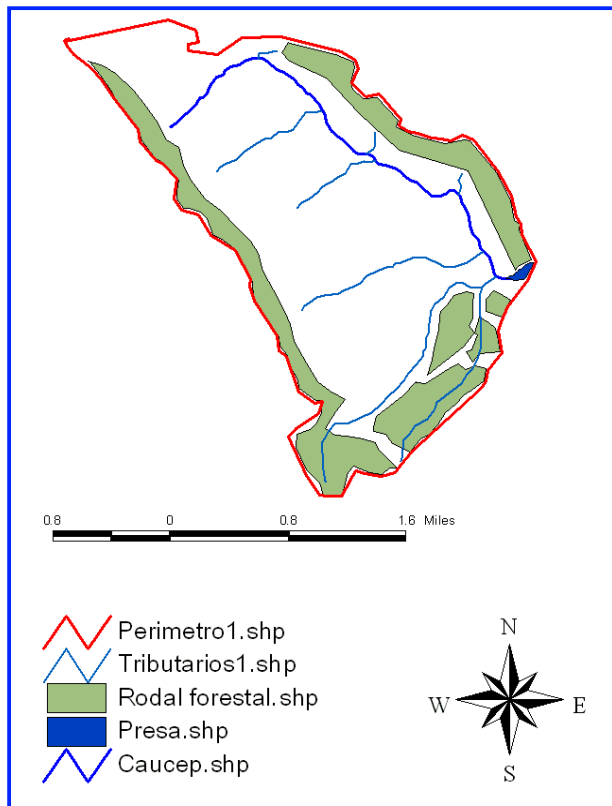
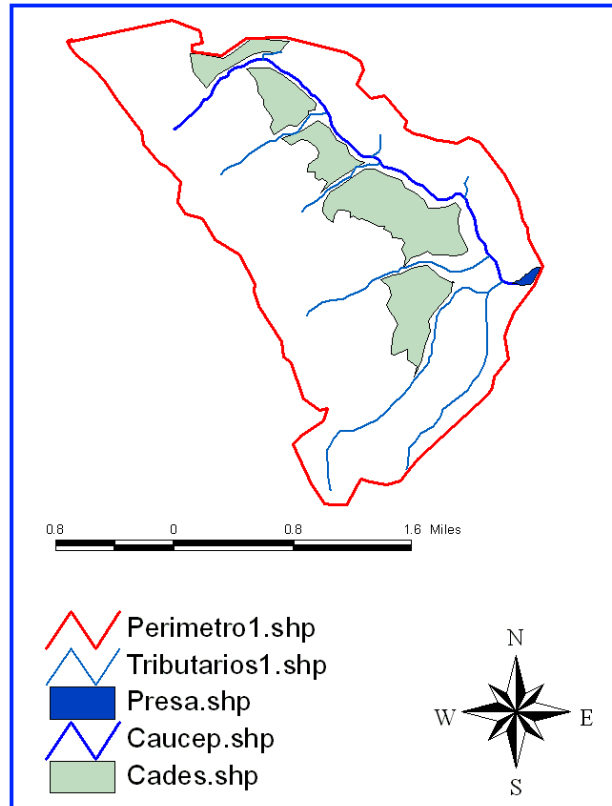


Figura 5. Áreas de Formación de terrazas de formación lenta en km²



Implementación de terrazas de formación lenta

Las mantas Pacollo, Caulli y Camiri, pertenecen a los cabildos de Circuyo y Jankocalani, los periodos de rotación son de 9 a 12 años, a las que denominamos Campos Agrícolas en Descanso (CADES), (tiempo relativamente largo para dejar a los suelos en descanso y con poca vegetación). Están ubicados entre los 4.100 a 4.200 msnm, son áreas donde se practican agricultura extensiva andina con cultivos como la papa amarga y cebada.

Según (Pillco, F. 2012), quien menciona que las zonas montañosas, como las que se caracterizan una buena parte de la geografía de Bolivia, con pendientes altas y fragilidad geológica, son muy propensas a la erosión hídrica, más aún si esos son incorporados a la producción agrícola CADES. En la Figura 5 se reporta que, ubicamos cinco áreas cultivables, quienes son sujetos a erosión hídrica y obviamente la causante de los problemas de turbidez en la represa de Quinuamayu.

Considerando estas características se plantea la necesidad de incorporar la actividad de construcción de terrazas de formación lenta, bajo las siguientes características técnicas:

La pendiente del terreno, profundidad efectiva del suelo, textura del suelo y existencia de material local; nos permitirán aplicar la Ecuación (3).

$$IV = \left(\frac{2-P}{3} \right) * 0.305 \quad (3)$$

Dónde:

IV: intervalo vertical

P: Pendiente del terreno

3: Coeficiente de precipitación

0,305: Coeficiente de conversión de pies a metros

Conociendo el IV, se podrá calcular el Intervalo Horizontal (IH), bajo la siguiente fórmula:

$$IH = \frac{(IV * 100)}{P} \quad (4)$$

Finalmente, conociendo el IV e IH, se calcula el espaciamiento (D) entre obras a establecer entre terrazas.

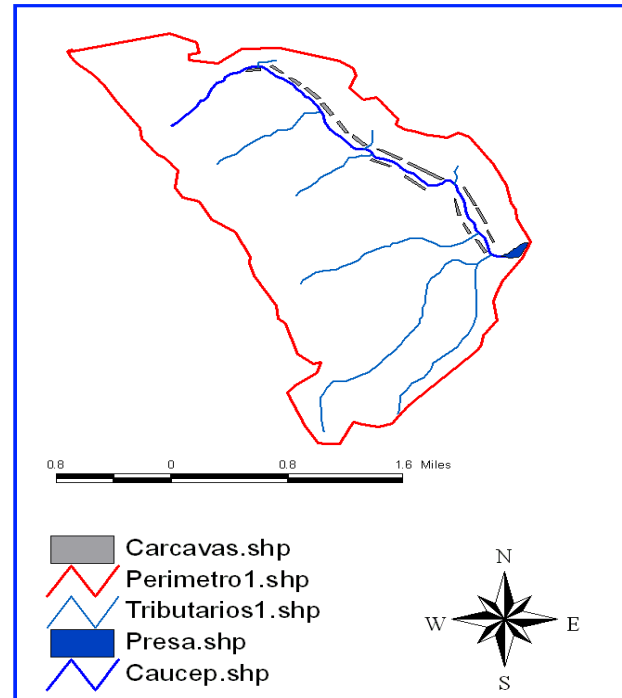
$$D = IV^2 - IH^2 \quad (5)$$

Seguidamente, se plantea la construcción de las terrazas de formación lenta formando el terraplén con una pendiente del 10% en sentido contrario a la pendiente del terreno sobre el cual se establece el muro de contención.

Implementación de sistemas de control de cárcavas

La calidad de agua que se deposita en la represa de Quinuamayu, presenta turbidez, ocasionado por los solutos disueltos producidos por el tipo de erosión hídrica que ocurre en la cuenca, desde los tipos conocidos como es la erosión laminar en la parte superior del área de estudio, que presenta suelos superficiales, con poca vegetación, que corresponde a la parte superior comprendida entre las cotas 4.300 m hasta la divisoria de aguas, en esta superficie se encuentran erosiones de surco y cárcavas iniciales y profundas, en la cuenca se encontró 18 cárcavas.

Figura 6. Zona de control de cárcavas en los cauces

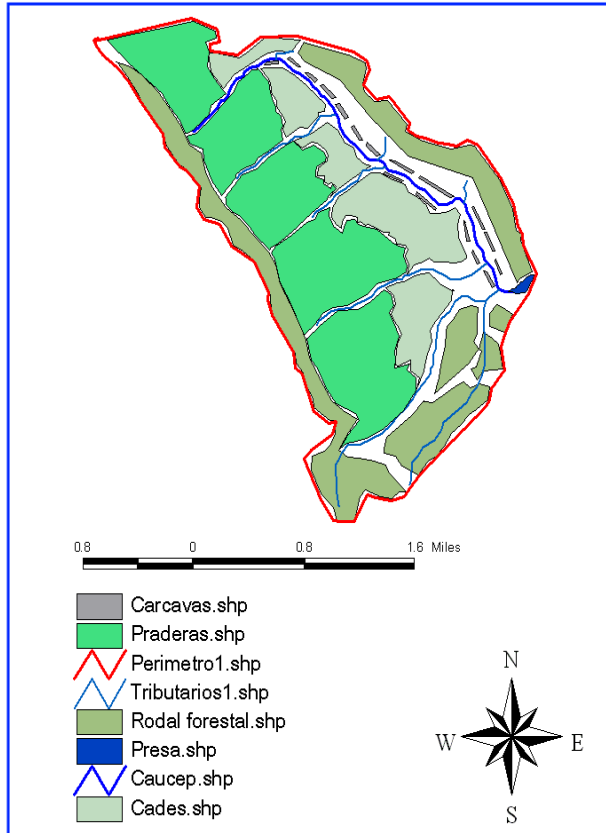


En estas cárcavas se plantea realizar el control con diques de contención, cercos, disipadores con la incorporación de especies forestales, arbustivas y pastos nativos en los cauces secundarios; mientras que, en los sectores críticos ocasionados por las cárcavas y avenidas rápidas, que permiten grandes deslizamientos y arrastres de sedimentos; se plantea construir gaviones y muros de contención, para poder estabilizar físicamente los suelos (Figura 6).

Conclusiones

Se determinó un sistema de información geográfica para la cuenca de la represa de Quinuamayu, en la que se pudo advertir un área de 13,950 km², se propuso plantear la implementación de 9,6 km² de manejo de praderas en cinco áreas de CANAPAS, asimismo, plantear la implementación de rodales forestales en seis áreas con una superficie de 4,5 km², Implementar la construcción de terrazas de formación lenta en cinco áreas de CADES y la implementación de sistemas de control de cárcavas en los cauces secundarios y principal de la cuenca de Quinuamayu (Figura 7).

Figura 7. Sistema de Información Geográfica Cuenca Quinuamayu



Finalmente, considerar que el trabajo de estrategia de manejo de la cuenca Quinuamayu, permitirá a mediano plazo el mejoramiento de la calidad de agua que ingresa a la presa, la misma que es objeto de consumo por la población de Llallagua como recurso de agua potable de consumo.

Referencias Bibliográficas

- CEHERKA. (2003). *Proyecto de manejo y conservación de suelos en la cuenca Quinuamayu*, primera fase, Llallagua Potosí. Bolivia.
- CIPE. (2009). *Sistema de Información Geográfica*.
- Cruz, R. (2006). *Estimación de la erosión hídrica mediante la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y SIG, de la micro cuenca de Quinuamayu Potosí Bolivia*. [Tesis de maestría en levantamiento de recursos hídricos manejo y conservación de cuencas, CLAS UMSS].
- EPSA BUSTILLO S.A.M., KFW. (2008). *Proyecto de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario en la mancomunidad Bustillo*, Informe final rehabilitación de la represa Quinuamayu lote 4. Llallagua, Bolivia.
- Köppen, W. P. (1936). *Geographische system der klimate*. in: Köppen, W.; Geiger, R., editores. *Handbuch der klimatologie*. Berlin: Gebruder Borntraeger. S.
- Loredo, V y Zambrana, R. (2012). Patrimonio geológico, minero e histórico de Llallagua y Uncía, su integración en una ruta turística. *Revista ciencia, tecnología e innovación DGI UNSXX*.
- Pérez, V. (2009). *Praderas nativas manejo y su recuperación*, CIPCA La Paz, ganadería andina N° 6, módulo II.
- Pillco, F. (2012). Estudio de la erosión hídrica laminar de la TIOC del Ayllu Sikuya del municipio de Llallagua, *Revista ciencia tecnología e innovación*. DGI UNSXX.
- Plan de Desarrollo Municipal (PDM). (2008). ETMA-APEMIN, II-GIZ/PADEP, Llallagua, Potosí, Bolivia.
- Zeballos, M. et al. (2003). *Contribución al conocimiento de la flora del departamento de Oruro*, Herbario Nacional de Bolivia, D.L. 4-1-1453-03 La Paz, Bolivia.

Tratamiento de Aguas Termales para Riego

Ramiro Cruz Gonzales¹

¹Docente titular, Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional "Siglo XX". cramuzg9@gmail.com

Resumen

Los eventos climáticos que se avizoran, dan una muestra de los cambios en los ecosistemas de cada región en el planeta, haciendo su impacto en la actividad agrícola, en el norte Potosí, la actividad principal es la agricultura, con características de alto riesgo, amenazados por granizos, heladas y sequias en pleno desarrollo de los cultivos, en el presente trabajo de estudio, se muestra como disminuir estos riesgos con el aprovechamiento de aguas termales para riego. El sistema dispone de una obra de toma (galería filtrante), canal con ingresos de caudales de agua termal, que ingresa a tres sifones invertidos que sirven como filtros por medio de sustratos preparados, depositados en la base de los sifones, un canal de conducción hasta las lagunas de estabilización. Este sistema en cada infraestructura tiene el objetivo de disminuir el pH del agua salada, primero con dilución del aporte de la obra de toma, en los sifones invertidos el tratamiento químico con los sustratos de arena y cal y, hasta las lagunas de estabilización, es diseñada en base a los camellones (waru waru, suckacollus), donde se incorpora el tratamiento biológico al agua salada, mediante los cultivos acuáticos de totora (*Scirpus riparius*). Los resultados indican que las características físico químico del agua tratada está en los rangos aceptables de las normas de riego.

Palabras Claves: tratamiento químico, tratamiento biológico

Treatment of Thermal Water to Irrigation

Cruz Gonzales, R.

Abstract

The objective in the investigation was to determine the concentration of the most The climatic events that are foreseen, give a sample of the changes in the ecosystems of each region on the planet, making their impact on the agricultural activity, in the north of Potosí, the main activity is agriculture, with high-risk characteristics, threatened by hail, frost and drought in full development of crops, in this study, it is shown how to reduce these risks with the use of thermal waters for irrigation. The system has an intake work (filtering gallery), a channel with inflows of thermal water flow, which enters three inverted siphons that serve as filters by means of prepared substrates, deposited at the base of the siphons, a driving channel to stabilization ponds. This system in each infrastructure has the objective of lowering the pH of the salt water, first with dilution of the contribution of the intake work, in the inverted siphons the chemical treatment with the substrates of sand and lime and, up to the stabilization lagoons, it is designed based on the ridges (waru waru, suckacollus), where biological treatment is incorporated into salt water, through aquatic crops of totora (*Scirpus riparius*). The results indicate that the physical chemical characteristics of the treated water are within the acceptable ranges of the irrigation standards.

Keywords: chemical treatment, biological treatment.

Introducción

Con el progreso, con el desarrollo de cada edad se generan efectos nocivos contra la naturaleza, con mayor intensidad en nuestro siglo y al conocerse los grandes fenómenos que amenazan al planeta se afirma que la humanidad es la única responsable de las posibles catástrofes que se avecinan. La evolución de estos fenómenos fundamenta la crisis de la agricultura, que provoca las complejas consecuencias sociales de nuestros días.

El elemento principal para la agricultura, el agua se encuentra en riesgo, en cantidades y calidades, en cuanto a servicios por parte del estado, destinado al sector agropecuario, no existe un fomento, mucho menos con infraestructura básica de sistemas de riego, es así que la superficie total de nuestro territorio el 51% está cubierto con bosque, el 31% por praderas naturales, el 3 % por tierras cultivables, el 15% de tierras eriales húmedas o anegadas, hecho que significa de los 1,1 millones de km², 29.000 km² se encuentran bajo cultivo. De éstos apenas 90.000 ha (900 km²) se encuentran bajo riego, estando el resto de la superficie cultivada y las praderas naturales sujetas a las variaciones climáticas. Se estima que 260.000 km² pueden ser cultivados, es decir una superficie diez veces mayor a la actual.

La evolución del conocimiento tecnológico del ser humano, lleva a éste, a iniciar una serie de actividades que le apartan de su principal actividad agropecuaria. Es así que, a principios del siglo XX, en la provincia Bustillo se sobrepone la minería como actividad que viene alterando el ecosistema de la zona. En la actualidad pueden verse paisajes desérticos, inhóspitos para toda forma de vida.

La alteración del ecosistema de la región del Norte Potosí y preferentemente en la provincia Bustillo, conduce a la baja producción, en relación a los antepasados, debido a diferentes factores, entre los que se puede mencionar:

- Los de carácter climático.
- Contaminación de suelos y aguas.
- Abandono de tecnologías propias.
- Introducción de modelos económicos.

La tecnología andina desde ningún punto de vista es estática, sino que se acomoda a la evolución del saber humano. Por otra parte, la

existencia de recursos hídricos que requieren de un aprovechamiento. Estos dos elementos conducen a tomar en cuenta la evolución tecnológica que desarrollaron otras culturas andinas, específicamente en aprovechamiento de los recursos hídricos en sistema de riego.

En las comunidades campesinas del Norte Potosí, las actividades agrícolas están supeditadas al clima, por la presencia de fenómenos climáticos adversos en plenos períodos de cultivo, como son las heladas granizadas y sequías que influyen en los bajos rendimientos, dando características de alto riesgo a la agricultura.

Sin embargo, en la región existen recursos hídricos que pueden ser aprovechados racionalmente, para enfrentar estas adversidades a través de sistemas de riego, en base a los caudales y topografía. Por la formación geológica el recurso hídrico está en diferentes formas, siendo una limitante para su uso directo.

Las vertientes con calidades recomendables tienen fluctuaciones y caudales reducidos para el consumo humano, existen vertientes con calidades marginales que no son utilizadas, por sus contenidos de sales que son nocivos para los suelos. En la provincia Bustillo existen este tipo de vertientes, con aguas salinas, provenientes de solfataras volcánicas, con caudales considerables para su aprovechamiento. En la actualidad solamente dos vertientes son utilizadas como balnearios públicos, por sus propiedades curativas del agua, son los casos de Catavi y Uncía.

Materiales y Métodos

Ubicación

Se encuentra en la primera sección del municipio de Uncía, está ubicado en el departamento de Potosí, provincia Rafael Bustillo, geográficamente se encuentra entre las coordenadas de 18°26'58" latitud Sud, 66°32'53" longitud Oeste, a una altitud 3757 msnm.

Calidad del agua de riego

Índices de primer grado

El pH, generalmente no es un índice demasiado importante en la calificación del agua, no obstante, cuando se sospecha que las aguas hayan podido ser contaminadas por residuos industriales, éste es buen índice de detección, pues puede emerger alarmantemente de los límites normales de 7 a 8 (Canovas, 1986).

La Conductividad eléctrica (CE), que es el índice de evaluación de la calidad de agua de riego a partir del contenido total de sales, suele ser peligroso cuando pasa de 1 g/l, contabilizándose en esta cifra todos los iones existentes en el agua (Bohn, 1993).

Índices de segundo grado

Pretenden medir el efecto combinado de dos o más sustancias que se hallan disueltas en el agua de riego, citamos el hecho comúnmente admitido de que, el efecto del sodio degradando la estructura del suelo se contrarresta con la acción del calcio, por tanto, un índice de segundo grado para medir el efecto de un agua sobre la estructura del suelo deberá considerar aquellos efectos y expresar la acción resultante de ambos iones (Serruto, 1987).

La razón de la Relación de Adsorción de Sodio (SAR) se muestra en la Tabla 1.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{++}) + (Mg^{++})}{2}}} \quad (1)$$

Donde:

Na^+ : Concentración de cationes de sodio

Ca^{++} : Concentración de cationes de calcio

Mg^{++} : Concentración de cationes de magnesio

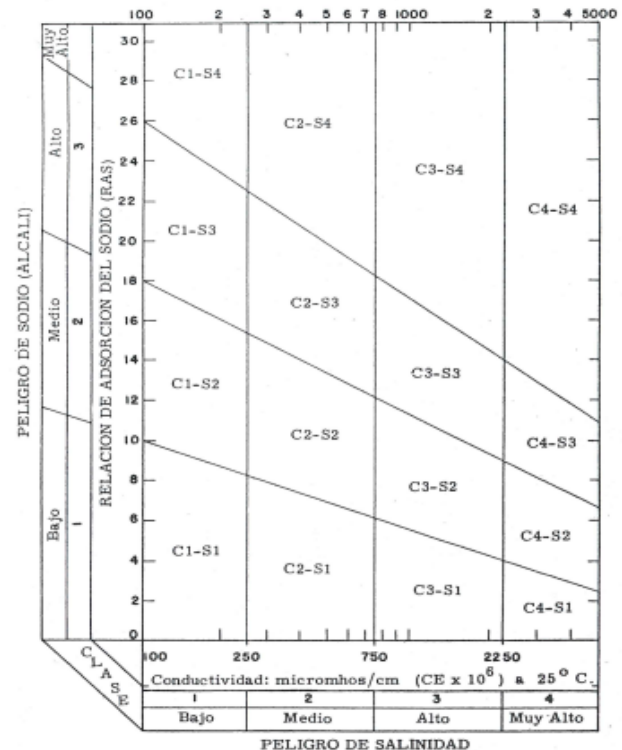
Hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ión sodio y los iones calcio y magnesio, el agua a analizar tiene valores mayores a 10, indica alcalinidad, siendo de riesgo mayores a este parámetro, la concentración de los cationes se expresa en meq/l.

Normas combinadas en la clasificación del agua de riego

La Norma Riverside, es el diagrama para la clasificación de aguas de riego siendo el U.S. Soil Salinity Laboratory, que consideran la

conductividad eléctrica y el SAR, índices que establecen clases de aguas enunciadas con las letras C y S, afectadas de un subíndice numérico cuyo valor aumenta concorde con el del índice respectivo que varían entre 1 y 4 Fassbender (1994).

Figura 1. Normas de Riverside. Diagrama para la Clasificación de aguas de Riego. (U.S. Soil Salinity Laboratory)



a) Peligro de salinidad determinado por la conductividad eléctrica con los cuatro subíndices:

- Agua de baja salinidad (C₁)
- Agua de salinidad media (C₂)
- Agua altamente salina (C₃)
- Agua muy altamente salina (C₄)

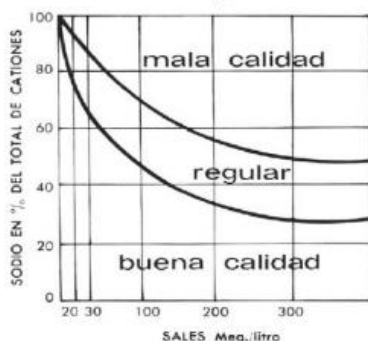
b) La clasificación de las aguas de riego con respecto a la SAR se basa por el efecto que tiene el sodio intercambiable sobre la condición física del suelo, no obstante, las plantas sensibles a este elemento pueden sufrir daños a consecuencia de la acumulación del sodio en sus tejidos.

- Agua baja en sodio (S₁)
- Agua media en sodio (S₂)
- Agua alta en sodio (S₃)

- Agua muy alta en sodio (S₄)

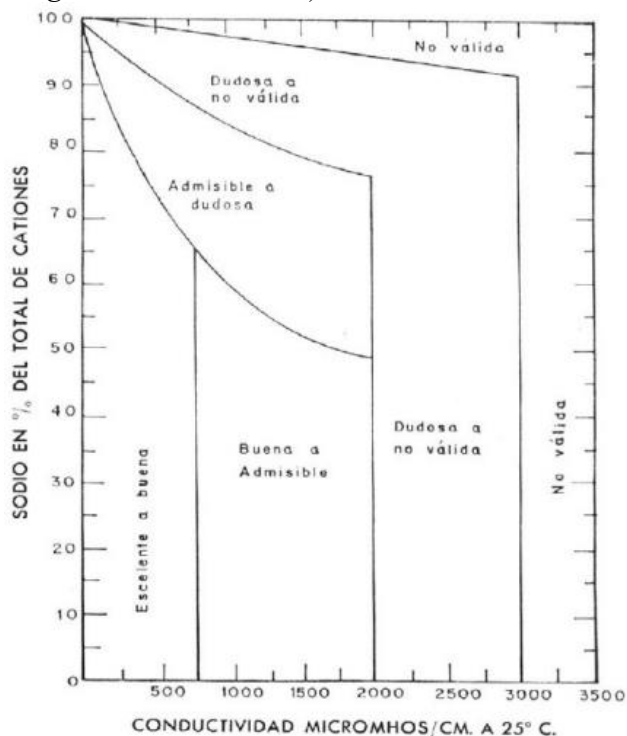
Norma H. Greene, preparados para la FAO, toma como base la concentración total sales del agua expresada en meq/l con relación al porcentaje de sodio

Figura 2. Normas de H Greene. F.A.O.



Norma de L.V. Wilcox, presenta diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego, considera como índices para la calificación de las aguas el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica.

Figura 3. Normas de L.V. Willcox. Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego (Adaptado de "The Quality of wáter for Irrigation USE". USDA)



Tames (1965), distingue tres clases de aguas.

Tabla 1. Calidad de Aguas según Tames

Parámetros	Buenas	Malas
Total sólidos disueltos TSD (g/l)	< 0,5	>12
Equivalente en CE (µmhos/cm)	< 780	=20.000
Boro (mg/l)	< 0,33	>3,75
Índice de Na ₂ CO ₂ residual (meq/l)	< 1,25	>1,25
Relación de calcio	>0,35	<0,35

Aguas dudosas: precedidas del estudio de suelos (textura, permeabilidad, pH, CaCO₂), clima (temperatura del suelo, capacidad de campo, profundidad de agua de lluvia), planta (resistencia a la salinidad de las presuntas especies vegetales) y acondicionamiento del terreno (nivelación, drenaje, sistema de riego).

Vegetales amortiguadores de medios salinos

El efecto principal de las sales solubles en las plantas es osmótico, ya que los niveles altos de sal impiden que las plantas obtengan el agua para su crecimiento. Las raíces contienen una membrana semipermeable que permite que el agua pase y, a su vez, rehace las sales. Entonces, desde el punto de vista del ósmosis, es más difícil de extraer el agua de las soluciones cada vez más salinas. Las plantas que crecen en medio salinos incrementan, en cierta forma, sus concentraciones osmóticas internas mediante la producción de ácidos orgánicos o por absorción de sales, a este proceso se denomina ajuste osmótico.

La especie *Scyrpus totora Kunth*, a pesar de las dificultades económicas y de las circunstancias que se presentan, debería considerarse que sin necesidad de efectuar grandes inversiones, se puede lograr a base de métodos simples una ayuda efectiva en el control de la contaminación, aprovechando los medios naturales existentes en los hábitats el uso de plantas acuáticas para la eliminación de sustancias químicas en la purificación de aguas.

El comportamiento de algunas plantas acuáticas superiores, con *Scyrpus lacustris*, que elimina materia orgánica e iones metálicos.

Determinación de Caudal para el tratamiento

Los caudales disponibles, se combinan para su tratamiento solamente para los meses críticos de junio a noviembre.

Tabla 2. Disposición de Fuentes Hídricas

Meses	Termal (l/s)	Río (l/s)	Caudal tratado (l/s)
Enero	0,217	1,374	1,591
Febrero	0,210	1,750	1,960
Marzo	0,196	0,199	0,395
Abril	0,193	0,144	0,337
Mayo	0,183	0,108	0,291
Junio	0,175	0,098	0,273
Julio	0,169	0,063	0,232
Agosto	0,163	0,052	0,215
Septiembre	0,163	0,046	0,209
Octubre	0,157	0,035	0,192
Noviembre	0,160	0,031	0,191
Diciembre	0,180	0,177	0,357

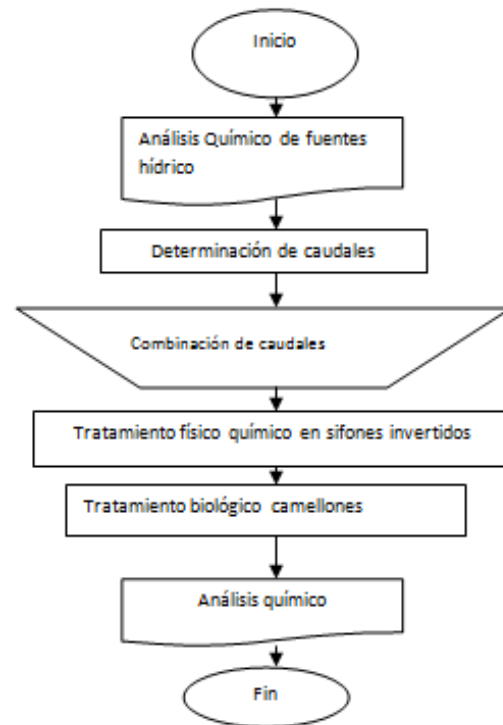
Resultados y Discusión

Sistema de tratamiento

El tratamiento inicia con la toma de muestras, análisis químico bajo normas de calidad de agua para riego, ingresando a los sifones invertidos, con su aplicación física y química a los caudales combinados de las vertientes de río y termales, en los camellones (suckacollo) transcurre el tratamiento biológico, previo a su aplicación necesariamente se realiza el análisis químico final.

Este proceso muestra en el flujograma (Figura 4).

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento



Análisis Químico

El análisis químico después de los sifones invertidos y el tratamiento biológico, evacua el siguiente informe de laboratorio:

Tabla 3. Resultados de calidad de aguas

Detalle	Muestra Sifones	Tratamiento Biológico
Índices de Primer Grado		
pH	7,2	7,2
C.E. μ mhos/cm	8640	1690
Calcio meq/l	6,8	4,2
Magnesio meq/l	1,5	2,8
Sodio meq/l	68,5	12,6
Potasio meq/l	6,4	1,2
Carbonato meq/l	Tr	Tr
Bicarbonato meq/l	7,2	3,5
Cloruro meq/l	74,0	16,2
Sulfato meq/l	3,6	1,6
Boro ppm	10,6	2,4
ST gr/l	4,4	1,08
Índices de Segundo Grado		
S.A.R	27,6	1,87
% Sodio Soluble	81,5	60,5
Dureza	40,2	35
Normas Combinadas		
Reverside Clase	C ₄ S ₄	C ₃ S ₁
H. Greene	Mala	Buena
L.V. Wilcox	No valida	Admisible

Nota, el resultado es del laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. UMSS.

Tabla 4. Clase Calidad y Validez de Agua

Fuente	Clase	Calidad	Validez
Toma 1	C ₂ S ₁	Buena	Admisible
Toma 2	C ₄ S ₄	Mala	No válida
Filtro Sifón	C ₄ S ₄	Mala	No válida
Tr. Biológico	C ₃ S ₁	Buena	Admisible

De donde se deduce, que el tratamiento biológico determina una mayor reducción de la concentración salina del agua, siendo recomendable para su uso; respecto al suelo, después de la aplicación de riego, los resultados se encuentran aceptables, no presentan niveles de toxicidad en los diferentes horizontes de los perfiles de estudio.

Tabla 5. Análisis de Suelos después de aplicación de agua tratada en riego

Propiedades/Muestra	Calicata 1		Calicata 2	
	P1M1	P1M2	P2M1	P2M3
Identificación	Ap	Bw	Ap	Bt
Símbolo (horizonte)	Ap	Bw	Ap	Bt
Profundidad (cm)	0-26	26-55	0-25	55-93
% Cap. Campo 0,3 atm	12,2	16,23	13,47	33,33
% Pto. Marchitez 15 atm	6,54	7,58	6,21	17,36
pH (extracto)	4,8	4,8	5,2	6,6
C.E. μ mos/cm	2990	1150	1950	1920
Calcio meq/100 g	5	7	5	14
Magnesio meq/100 g	2,5	2,5	5	6
Sodio meq/100 g	1,28	1,04	0,96	2,4
Potasio meq/100 g	0,94	0,7	0,55	1,32
Cloruro meq/l	18,22	8,1	12,8	12,8
Boro soluble ppm	2,8	2,5	2,6	5,5
% Materia orgánica	2,02	1,52	2,65	1,04

Nota, el resultado es del laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. UMSS.

Se determina que la aplicación del riego, con aguas tratadas, es más para asegurar la producción de los cultivos temporales, la presencia de lluvias, no se da en forma permanente en el proceso del cultivo, principalmente en el desarrollo de tubérculos de papa.

Conclusiones

El agua termal con contenidos salinos no recomendables para el riego, es posible tratarlo para la utilización en sistema de microriego, aplicando tecnología apropiada, en ningún momento se recurre a elementos químicos, más bien toma partida con vegetales que se adaptan y son del medio.

Las aguas evacuadas por la industria minera contienen elementos tóxicos que alteran los ecosistemas de cuencas de sus afluentes, sin embargo, éstos también pueden ser tratados para disminuir la contaminación de aguas y suelos en zonas bajas.

Referencias Bibliográficas

- Aldrich y Worten. (1980). *Suelos Agrícolas su conservación y Fertilización*. UTHEA, Hispano Americana S.A. de C.V. México.
- Bohn. Química del suelo, LIMUSA Noriega Editores 1993, pp 28, 264.
- Canovas. Calidad Agronómica de las Aguas de Riego. Ed. Servicio de Extensión Agraria. Madrid, 1986, pp13, 21.
- Chereque W. M. (1989). *Hidrología*. Ed. M.Q. Lima.
- Fassbender H. W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Ed. IICA, San José, Costa Rica, 1994. Pp. 193.
- Franken M. (1995). Purificación de Aguas Mediante Plantas Acuáticas. *Revista de Ingeniería Sanitaria*. ABIS La Paz.
- James N. Luthin. (1986). *Drenaje de tierras agrícolas*. Ed. Limusa, México D.F.
- Rodríguez R. M. (1985). *Morfología y Anatomía Vegetal*. Ed. Amigos del Libro, La Paz.
- Serruto R. C. Riegos y Drenajes, Universidad Nacional Agraria La Molina Lima 1987. Tema Evapotranspiración, Uso consuntivo y demanda de agua. pp 9,11.
- Tisdale Nelson. Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Ed. Limusa. S.A. de C.V. México D.F. 1991. Pp. 693.
- W. Luttle, M. Kluge, G. Baver. Botánica. Ed. Interamericana Mc Graw Hill. 1993. Pp. 12, 437, 547.

Acabado de Corderos Corriedale (*Ovis aries*) en Época de Estiaje con Suplementación Alimenticia de Granos Forrajeros

Luis Canaviri Ajalla¹. Freddy Luis Cadima Valda²

¹Ingeniero Agrónomo, Carrera Ingeniería Agronómica de la UNSXX. Llallagua Potosí, Bolivia.

²Ingeniero Agrónomo, Docente carrera Ingeniería Agronómica de la UNSXX. Llallagua Potosí, Bolivia.

Resumen

La investigación se realizó en el periurbano del municipio de Sacaca, departamento de Potosí, país Bolivia, situado a una altitud de 3850 msnm, entre las coordenadas de 18° 01' 00'' de latitud Sur y 66° 20' 00'' de longitud Oeste. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de granos forrajeros de avena (T1), cebada (T2) y arveja (T3), como alimento suplementario en el acabado de corderos de raza Corriedale durante la época de estiaje. Se utilizó el diseño bloques al azar, evaluando tres tratamientos y un testigo con tres repeticiones, haciendo un total de 12 corderos de la raza Corriedale. Para el análisis de varianza, se consideró como variables de respuesta el incremento de peso, consumo de granos forrajeros, incremento de altura a la cruz, longitud corporal, además del rendimiento a la canal. Los resultados a los 90 días, muestran como el mejor incremento de pesos al T3 con 13,50 kg, seguido del T2 con 8,67 kg, T1 con 7,83 kg y el T0 con 5,50 kg respectivamente. Con referencia al consumo de granos durante el ensayo, el más consumido fue la arveja con 53,03 kg, continuando en orden descendente la cebada con 52,83 kg y la avena con 52,55 kg. Finalmente, efectuada la evaluación económica del estudio, el T3 en la suplementación de corderos; tubo una retribución de 26,82%, seguido por el grano de cebada con 20,35%; posteriormente, el grano de avena con 16,91% y finalmente, el testigo con apenas del 18,01%.

Palabras claves: granos de cereales locales, ovinos

Finishing of Corriedale lambs (*Ovis aries*) in the Dry Season with Food Supplementation of Forage Grain

Canaviri Ajalla, L., Cadima Valda, F. L.

Abstract

The research was carried out in the peri-urban area of the municipality of Sacaca, department of Potosí, Bolivia, located at an altitude of 3850 msnm, between the coordinates of 18° 01' 00" South latitude and 66° 20' 00" South latitude. The objective of the research was to determine the effect of forage grains of oats (T1), barley (T2) and peas (T3), as supplementary feed in the finishing of Corriedale lambs during the dry season. A randomized block design was used, evaluating three treatments and a control with three repetitions, making a total of 12 Corriedale lambs. For the analysis of variance, the response variables were weight gain, forage grain intake, height gain at the withers, body length, in addition to carcass yield. The results at 90 days show the best weight gain at T3 with 13.50 kg, followed by T2 with 8.67 kg, T1 with 7.83 kg and T0 with 5.50 kg, respectively. With reference to grain consumption during the trial, the most consumed was peas with 53.03 kg, followed in descending order by barley with 52.83 kg and oats with 52.55 kg. Finally, carried out the economic evaluation of the study, the T3 in the supplementation of lambs; had a remuneration of 26.82%, followed by barley grain with 20.35%; later, the oat grain with 16.91% and finally, the control with just 18.01%.

Keywords: local cereal grains, sheep.

Introducción

La explotación del ganado ovino en el mundo, tiene una gran importancia para la humanidad, es uno de los animales domésticos de amplia distribución geográfica, debido a su extraordinaria capacidad de adaptación a diferentes condiciones de clima, alimentación, manejo y su característica adoptada de aprovechar el pastoreo de variadas praderas.

La ganadería ovina está fundamentalmente, representada por el eco tipo criollo, descendientes de las razas Chura y manchega de España, que fue introducida a Bolivia en la época de la Colonia. En el Altiplano boliviano pese a las condiciones climáticas adversas ha sido posible la crianza del ovino, cuya resistencia y versatilidad de adaptación ha hecho esta explotación ganadera sea la actividad principal de sustento del habitante alto andino (Cardozo, 2002). Desde entonces, el ovino criollo forma parte importante y a veces, insustituible en la economía del pequeño productor, su función es contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria y proveer de recursos adicionales para el intercambio o la venta de productos (Robles, 2015).

La ovinocultura en Bolivia, es una alternativa de producción agropecuaria, debido a la suma de sus cualidades productivas como la carne, leche, lana, estiércol. La alimentación común de este ganado es por medio del pastoreo y en la mayoría de los casos, se realiza en las praderas naturales.

Las características edafoclimáticas del departamento de Potosí, presenta limitaciones severas para la explotación del ganado ovino, como consecuencia, muestra rendimientos no favorables para las familias del sector pecuario, por la baja precipitación pluvial, constantes sequías, temperaturas extremas. El problema es, que el tipo de praderas de la región no satisface los requerimientos alimenticios del ganado lanar, siendo la alimentación un factor determinante para el éxito o fracaso, en tal entendido nos lleva realizar trabajos de investigación acerca de la alimentación suplementaria para la época de estiaje.

En el municipio de Sacaca en su gran mayoría, la población ovina es criolla, aunque,

existen otras razas en pequeña cantidad. La explotación ovina se practica tradicionalmente, sin previo conocimiento técnico en los temas de manejo, sanidad, alimentación. Territorialmente, el municipio se encuentra en surcufundio, con problemas de sobre pastoreo, mismos que afectan en gran medida el comportamiento productivo del ovino, llegando hasta una tasa de mortalidad elevada en recién nacidos. Las praderas nativas no disponen de los nutrientes necesarios para los ovinos durante todo el año, por tanto, no satisface los requerimientos nutritivos, sobre todo en época de estiaje donde se presenta mayor conflicto para los productores.

Frente a estos problemas, es necesario plantear otras alternativas en el campo de nutrición ovina. El presente trabajo de investigación se enfoca en la satisfacción de los nutrientes vitales de corderos Corriedale; la proteína y la energía que son componentes principales del alimento, utilizando los recursos locales del municipio. Una potencialidad que tiene el municipio es la producción de cereales y leguminosas por lo que se lleva adelante la investigación utilizando como materia prima los granos de avena, cebada y arveja para la suplementación ovina. Buscando determinar el efecto de los granos forrajeros de avena, cebada y arveja como alimento suplementario en el acabado de corderos de raza corriedale en la época de estiaje. Debido a lo mismo, la introducción de los corderos Corriedale al municipio, tuvieron un ambiente propicio para su crianza y durante el tiempo del ensayo no hubo ningún inconveniente con el medio, mostrando un comportamiento aceptable.

Materiales y Métodos

El trabajo de investigación se realizó en el municipio de Sacaca, primera sección de la provincia José Alonzo de Ibáñez del departamento de Potosí. En la investigación se utilizó 12 corderos de la raza Corriedale del sexo macho, con pesos entre 14 a 18 kg; los cuales, fueron adquiridos del Centro Experimental Agropecuaria Condoriri (CEAC) de la Universidad Técnica de Oruro (UTO) del departamento de Oruro.

La investigación corresponde al tipo experimental, hipotético deductivo. El

experimento se realizó en dos fases: pre-experimental y experimental.

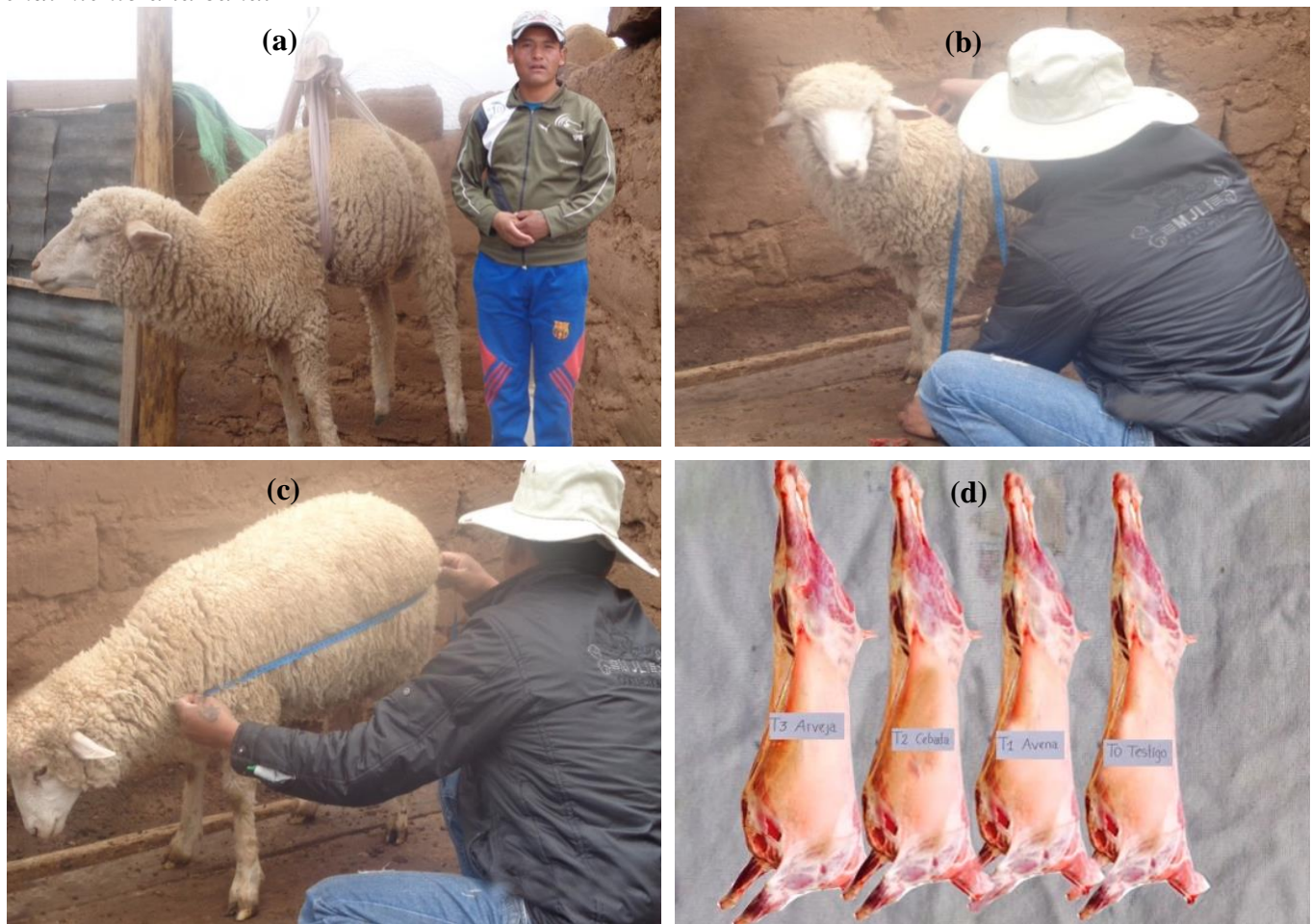
Se evaluó tres tratamientos con tres repeticiones. Primer tratamiento grano de avena (T1), segundo tratamiento grano de cebada (T2), tercer tratamiento grano de arveja (T3) y el testigo (T0) sin suplemento. Las sales minerales fueron dispuestas ad-libitum en bloques pre-elaborados, de uso específico para ovejas.

La investigación tuvo una duración de tres meses, más una semana de adaptación (01/09/2015 al 01/11/2015). La investigación se inició con la designación azar de los corderos en sus áreas establecidas, donde se procedió a realizar las siguientes actividades.

El consumo de granos forrajeros se determinó mediante la diferencia de la cantidad de suplemento suministrado y la cantidad de suplemento rechazado, estos datos fueron registrados en la planilla de registros.

Las variables zoométricas medidas se evaluó al inicio como dato base para valorar el desarrollo corporal de los animales, posteriormente se evaluaron cada 30 días hasta la finalización del experimento. Para este efecto se utilizó cinta métrica de acuerdo a la normativa propuesta por Pérez (2007). Los datos registrados son: peso vivo, altura a la cruz, longitud corporal y rendimiento a la canal (Figura 1).

Figura 1. Evaluación de resultados (a) peso vivo, (b) Altura a la cruz, (c) Longitud corporal, (d) rendimiento a la canal



El rendimiento a la canal consistió en el sacrificio de animales que se realizó al finalizar el experimento (Figura 1d), un cordero por tratamiento sorteado al azar con la finalidad de verificar el rendimiento a la canal. El proceso de

faena fue desangrado, desollado, eviscerado, separada la cabeza a nivel de la articulación occipito-atloidea y sin extremidades que se cortan a nivel de las articulaciones carpo-metacarpiana y tarso-metatarsiana, conservando la cola, los

pilares y la porción periférica carnosa del diafragma, los testículos, los riñones, la grasa de riñonada y la cavidad pélvica.

En el presente trabajo de investigación se aplicó el diseño bloques al azar con tres tratamientos más un testigo, cada bloque con tres repeticiones, haciendo un total de 12 corderos de la raza Corriedale.

Para el análisis estadístico aplico el método Duncan que permitió la evaluación de los datos. Las figuras de las variables de respuesta fueron procesadas en Microsoft office Excel.

Para el análisis de la parte económica, se procedió al análisis de los costos de producción, de acuerdo a los gastos efectuados; en la compra de granos forrajeros, mano de obra en el cuidado de los corderos, aplicación de fármacos. Para el beneficio tomando en cuenta el precio de la carne del mercado actual. Todo lo mencionado fue evaluado con el indicador relación beneficio/costo (Economía Administrativa y Mercadeo Agropecuario 1990).

Resultados y Discusión

La variable de respuesta evaluada fue Incremento de peso, consumo de granos forrajeros, incremento de altura a la cruz, incremento de longitud corporal y el rendimiento a la canal.

Incremento de pesos de los corderos

La Figura 2(a), deja ver de manera comparativamente el incremento de peso en kilogramos, de acuerdo a los tratamientos aplicados durante la investigación. El dato dominante corresponde al tratamiento de arveja con un promedio de 13,50 kg relativamente superior al resto, lo que representa a una ganancia diaria de 150 g día⁻¹ por ovino, por tanto, corrobora la mención de Quiroz (2000), de que, si las ovejas consumen buenos pastos, tienen ganancias de peso entre 80 a 200 g día⁻¹. El segundo por el tratamiento de cebada con promedio de 8,67 kg, el tercero corresponde al tratamiento de avena y testigo con promedios 7,83 kg y 5,50 kg. Los resultados también similares a

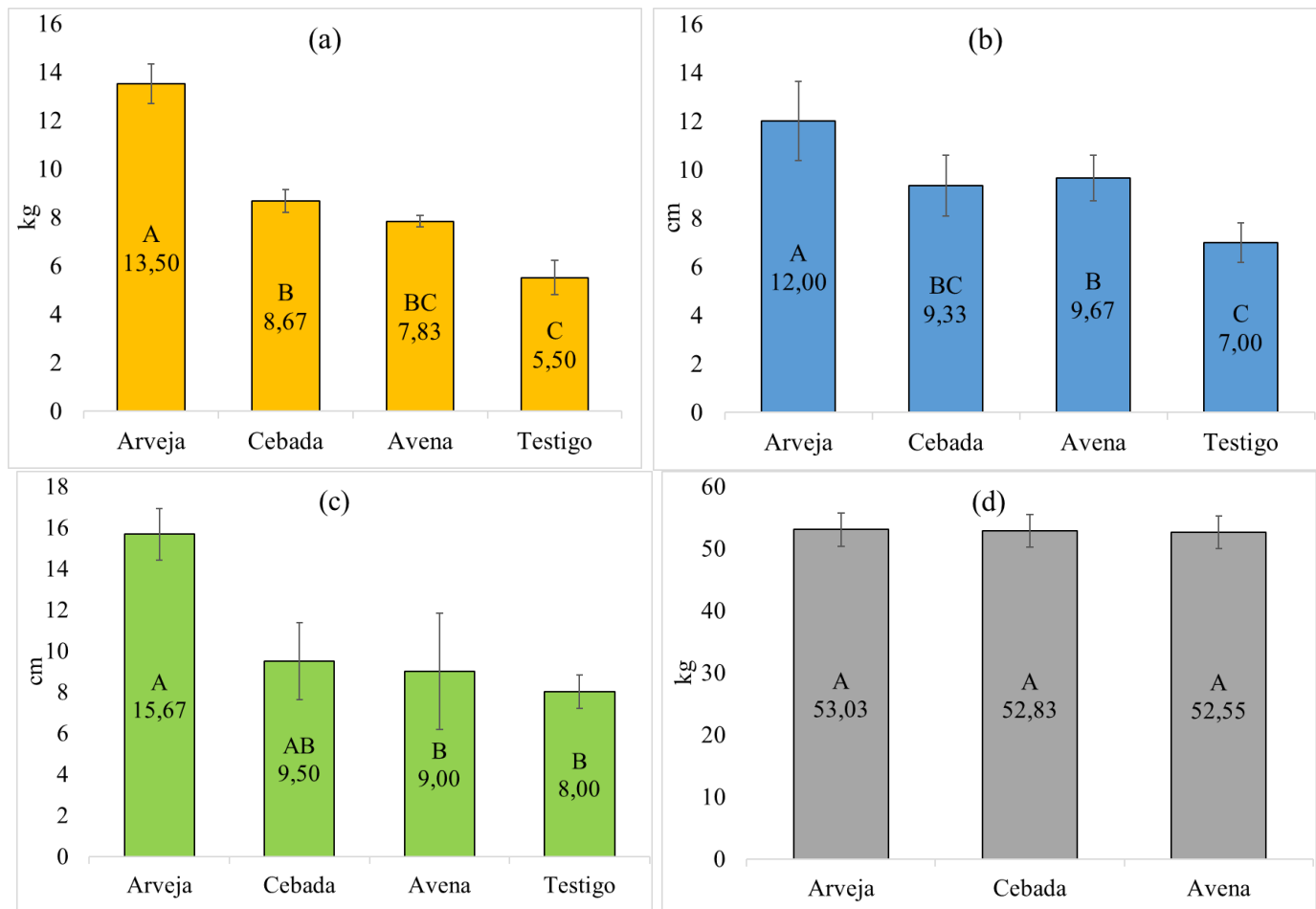
los reportados por Lema y Cacuangó (2012) en el tema de crecimiento y desarrollo de ovinos Corriedale utilizando tres mezclas forrajeras reportando resultado de 11,83 kg de incremento de peso en el mismo tiempo de la investigación con similares características del presente trabajo.

. En la Figura 2(a), se observa el incremento de peso vivo a los 90 días, con diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, estadísticamente el T3 (grano de arveja) demuestra un incremento superior con relación a los demás tratamientos, brindando mejor ganancia de peso vivo, tal efecto se atribuye a la asimilación y digestión en el proceso metabólico de los corderos, en esta etapa de crecimiento tienen la mayor capacidad de aprovechar los nutrientes contenidos en el alimento ofrecido.

El incremento de peso entre tratamientos se debe a que los corderos tienen mayor concentración de hormona “somatotropina” que es una hormona que estimula el crecimiento y la reproducción celular, tales hormonas están constituidas de péptidos y aminoácidos. Promueve la síntesis de proteína por las células, produciendo el aumento de masa muscular y otros tejidos corporales. Además, el ganado lanar es rumiante con compartimientos (rumen, retículo, librillo cuajar), por tanto, tienen la capacidad de digerir fibras y otros glúcidos transformando en alimentos más sencillos, con la intervención de bacterias y enzimas propios del rumen. Los granos de la misma forma son intervenidos por los microorganismos ruminales generando los ácidos grasos volátiles (AGVs) que son fuentes principales de provisión de la proteína y energía esto hace que aumente la masa muscular y como resultado el incremento de peso vivo del cordero

Por otro lado, la literatura reporta que, en países con climas templados y buenos pastos se obtienen ganancias de 200 g día⁻¹ y en confinamiento con dietas basadas en cereales (maíz, sorgo, etc.) hasta 300 g día⁻¹, sin embargo, las ganancias de peso en el trópico con razas de pelo son menores y muestran además una mayor variación por lo general pueden esperarse de 50 a 150 g día⁻¹ (Vélez ,1993).

Figura 2. Resultados de investigación a los 90 días de investigación (a) Incremento del peso vivo (kg), (b) Incremento de altura a la cruz (cm), (c) Incremento longitud corporal (cm), (d) alimento consumido (kg).



Los resultados del T3 y T2 concuerdan con las afirmaciones de PROCANOR (2006), al decir que una oveja por cada kilogramo de materia seca consumida produce diariamente alrededor de 60 g a 100 g.

Incremento de altura a la cruz

La Figura 2(b), demarca un incremento de la investigación que el T3 reporta relativamente superior con 12,00 cm; T2 = 9,67 cm.; T1 = 9,33 cm, finalmente, el testigo 7,00 cm. Estos resultados se obtuvieron por el contenido nutritivo de los granos forrajeros que contribuye la mayor fuente de proteína y la energía. Según Figueredo (2005), los rendimientos y composición química del forraje, granos y concentrado de proteína de las leguminosas y cereales señalan su potencialidad como fuente de alimento no

convencional en los animales del trópico, y como también en los andes.

El incremento de altura a la cruz, se debe al factor genético, los corderos Corriedale son capaces de desarrollar con mayor velocidad que los ovinos criollos, al mismo tiempo, son exigentes en el tema de alimentación y los granos compensan esa exigencia alimentaria. Por otro lado, influye los factores fisiológico y nutricional; El primero se refiere al sistema nervioso, óseo, muscular y la velocidad de alimentación, comienza a aumentar la velocidad de crecimiento del tejido adiposo y el animal engorda. Los valores superan los reportados por Yarad, S. (2010), quien obtuvo en el mismo lapso de tiempo valores medios de 10,65 cm para el T1 y 8,60 cm para el T2 en corderos lechales cruce Rambouliet Dorset, por lo que se llega a la conclusión de que existe mayor incremento de altura a la cruz en corderos Corriedale.

Lema y Cacuangó (2012) lograron los siguientes resultados correspondientes al incremento de altura a la cruz los mejores fueron: T4 = 16,67 cm, T1 = 15,33 cm, T6 = 15,00 cm y el T3 = 14,33 cm. En el tema de influencia de tres mezclas forrajeras al corte, en el crecimiento y desarrollo de ovinos estabulados. Estos resultados superan los resultados del presente ensayo; que reporta 13,50 cm para T3, para T2 9,66, para T1 es 9,33 y para el control es 7,00 cm.

Incremento de longitud corporal

En la Figura 2(c), se observa los resultados de incremento de longitud corporal por tratamientos con sus respectivos promedios al final del ensayo, donde, el valor más alto se obtuvo al utilizar el grano de arveja T3 con promedio de 15,67 cm, por lo demás, los resultados T2 con 9,50 cm; T1 con 9,00 cm y el testigo 8,00 cm. Yarad (2010), en su investigación obtuvo similar resultado donde utilizó anabólicos de crecimiento, pero bajo sistema de pastoreo.

Los resultados se deben a las cualidades nutritivas proteicas y energéticas que contribuye los granos en su composición, lo que favorece en la digestibilidad y asimilación del alimento, generando una alta producción de AGV. De manera aumenta el desarrollo corporal, estimuladas por las hormonas propias del animal. Al mismo tiempo los corderos tienen mejor comportamiento productivo, siempre cuando se cumpla adecuadamente en los temas de; manejo, alimentación y sanidad, que son factores exigentes en la explotación ovina.

Los granos provocan una fermentación propiónica en los compartimentos del animal, y que este ácido estimula la síntesis de insulina, hormona anabólica que tiene acción sobre la síntesis de grasa corporal, muscular y huesos que en conjunto constituye el desarrollo de las partes medibles del cordero. Además, el consumo del líquido vital y las sales minerales estimulan el consumo alimenticio y un mejor metabolismo en los órganos internos.

Consumo de grano forrajero

Los resultados del presente experimento muestran que la alimentación de ovinos con

granos forrajeros como suplemento alimenticio y una dieta basal de pastoreo a campo en época crítica, resulta significativamente benéfica. Coincide con lo reportado por Castellón y González (2006), que la suplementación con granos de maíz amarillo a animales que consumían heno de pasto estrella incremento significativamente el consumo de materia seca total.

La Figura 2(d), muestra el total de grano forrajero consumido por tres animales en cada tratamiento durante 90 días, se obtuvieron de la diferencia del total de alimento suministrado menos el total de alimento sobrante que fueron registrados durante los 90 días del ensayo, de manera que, el T3 registra un promedio de dato de 53,03 kg de grano, el T2 un promedio de 52,83 kg y, el T1 registra apenas 52,55 kg.

Mejía (2009) en su trabajo de investigación determinó los siguientes consumos, el tratamiento III presentó el mayor consumo con 0,50 kg día⁻¹ por animal, el que difiere significativamente del consumo observado en el tratamiento II (0,43 kg día⁻¹ por animal) y en el tratamiento I (0,41 kg día⁻¹ por animal) los que, a su vez, difieren estadísticamente entre sí. Los animales suplementados con 0,50 y 0,35 kg MS de forraje de marango, incrementan el consumo diario total en 0,23 y 0,16 kg MS, respectivamente, comparados con los animales alimentados con la dieta basal de Panicum. Con relación a Mejía (2009) el consumo determinado en la presente investigación fue de 0,20 kg día⁻¹ por ovino, es decir, los datos obtenidos son relativamente superiores.

Los granos de cereales son la fuente más común de energía para las dietas de ganado ovino y pueden equivaler hasta el 95% de la dieta total para animales en corral de engorda. Los granos enteros tienen una menor velocidad de fermentación, lo cual, aumenta el tiempo de rumia, el pH ruminal reduce el riesgo de acidosis ruminal). De esta forma, la alimentación de corderos con dietas altas en granos ofrece ventajas sobre los molidos, en especial sobre la conversión alimenticia, ganancia de peso y los costos de alimentación (Brent, 1976, citados por Herrera, 2014).

Rendimiento a la canal

Tabla 1. Resultados de evaluación de rendimiento a la canal

Tratamientos	Peso vivo	Rendimiento a la canal (kg)	Rendimiento (%)
Avena	22,00	11,22	51
Cebada	24,00	12,24	51
Arveja	31,50	16,40	52
Testigo	21,00	10,50	49

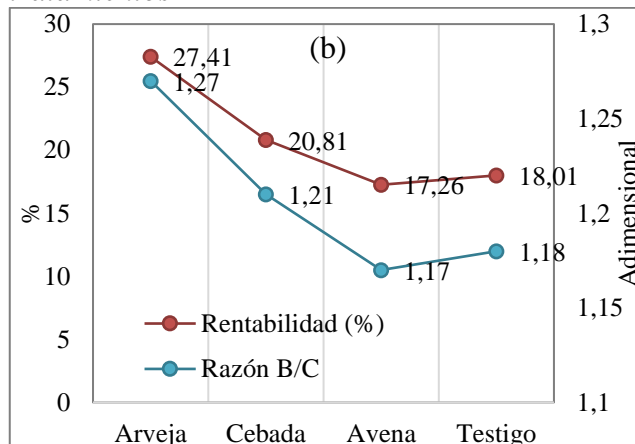
En síntesis, al final del trabajo de investigación, y el que presenta mejor rendimiento es el T3 (Tabla 1) con 52% con un peso en carne de 16,40 kg por ovino, seguido del T2 con 51% con un rendimiento a la carne 12,24 kg por ovino, el T1 con un rendimiento de 11,22 kg por ovino, y por último el control con un rendimiento de 10,50 kg por ovino. Al realizar el faene de los animales, el rendimiento en carne de corderos fue de 50,75% promedio a la canal; el restante involucra las vísceras, cuero, cabeza y la sangre.

De acuerdo a Helman (1989a) el rendimiento a la canal es el porcentaje o relación por ciento que se establece entre la cantidad de carne limpia obtenida. La otra parte corresponde al peso de la sangre, cuero, vísceras, cabeza y extremidades (cortadas en las rodillas y garrones). En la especie ovina, el rendimiento a la canal oscila entre 45% al 52%. Si bien es cierto que el rendimiento varía con las razas, el sexo y la edad de los animales. Justamente hay una coincidencia con el autor que menciona y con el trabajo que se realizó oscilando entre los parámetros establecidos.

Análisis de relación beneficio costo

Los costos de producción y los ingresos que muestra la Figura 3, se evaluaron el rendimiento a la canal de los corderos por tratamiento una cabeza.

Figura 3. Curva de rentabilidad de los tratamientos



La relación beneficio costo nos permite apreciar que por la aplicación de los granos se recupera 0,27 para el T3 (arveja); 0,21 para el T2 (cebada); 0,18 para el T0 (testigo) y 0,17 para el T1 (avena) por cada boliviano invertido, en realidad es un valor bastante pequeño que se justifica por el alto costo de las ovejas compradas con valores altos al mercado corriente, por otro lado, por el costo alto de los granos, debido a que estos son cultivos destinados para el consumo humano.

Conclusiones

El mejor incremento de peso a los 90 días, fue el tratamiento de arveja (T3) con un promedio de 13,50 kg, seguido por el tratamiento de cebada forrajera (T2) con promedio de 8,67 kg, posteriormente por avena (T1) con 7,83 kg por último el testigo con 5,50 kg

Realizada la evaluación económica del experimento se llegó a la conclusión de que, la mejor retribución económica se obtuvo con el tratamiento de grano de arveja con un valor de 26,82%, seguido por el grano de cebada con un valor de 20,35%, tratamiento avena 16,91% y el testigo reporta 18,01% de rentabilidad.

El suministro de grano forrajero arveja con inclusión de 200 gr día⁻¹ por animal, es una alternativa en la producción del ganado ovino en época estiaje de la región. No obstante, se recomienda suministrar aquellos granos forrajeros de última categoría (no aptos para consumo humano), que el ganado lanar puede optimizar para su producción.

Referencias Bibliográficas

- Brent, B.E. (1976). Relationship of Acidosis to Other Feedlot Ailments. *Journal of Animal Science*, 43(4), 930–935. <https://doi.org/10.1093/jas/43.4.930>
- Cardozo, G. A. (2002). *Producción de ovinos*. La Molina Facultad de Zootecnia Lima– Perú.
- Economía Administrativa y Mercadeo Agropecuario (1990). *Enciclopedia agropecuaria Terranova*. Tomo VI. Edición Terranova Santa Fe de Bogotá, Colombia. 230 - 280.
- Figueredo, L. (2005). *Los ovinos. Una producción de bajos insumos*; Cuba. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090905.html>
- Helman, M. B. (1989a). *Ovinotecnia, Cría y explotación de Ovinos*. Tomo II Editorial “EL ATENEO” Argentina. 621 – 623.
- Herrera Medina R. E. (2014). *Suplementación con granos de cereales en ovinos rambouillet en condiciones de pastoreo semi-extensivo*. [Tesis de Maestra, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].
- Lema Ramírez E. y Cacuango Robalino G. (2012). *Crecimiento y desarrollo de ovinos Corriedale*. [Tesis de grado, Carrera Ingeniería Agropecuaria, Universidad Técnico del Norte], Ibarra, Ecuador. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2123/1/TESIS%20OVINOS.pdf>
- Mejía S. (2009). *Efecto de la suplementación con grano de cebada y desechos de cervecería sobre el comportamiento productivo de ovinos alimentada con una dieta basal de pasto guinea*. [Tesis de Grado].
- Pérez, M. (2007). *Ovinos y caprinos*. Editorial Pueblo y educación; La Habana, Cuba.
- PROCANOR. (2006). *Manual técnico para producción de ovinos N° 3*; Proyecto de desarrollo de la producción de cárnicos sanos en el norte del Ecuador. Ibarra, Ecuador; 8,10,12,28.
- Quiroz, J. (2000). *Crianza y manejo de ganado ovino*. CARE-SEDER Perú. <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3840/3/BVCI00024103.pdf>
- Robles R. G. (2015). *Situación de la ganadería ovina nacional*. Mesa redonda sobre políticas de ganadería ovina. Instituto Nacional de fomento de ganadería ovina La Paz – Bolivia.
- Vélez (1993). *Producción de cabras y ovejas en el trópico*. Publicado por Honduras Zamorano.
- Yarad, S. (2010), *Anabólicos de crecimiento, bajo sistema de pastoreo en corderos lechales cruce Rambouliet Dorset*

Sistema Hidropónico Automatizado bajo Invernadero para la Producción de Lechuga (*Lactuca sativa L.*)

Isaac Ayanoma Jarro¹, Humberto Álvarez Cabrera²

¹ *Tesista de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional "Siglo XX"*

² *Docente titular, Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional "Siglo XX", halvarezc2002@gmail.com*

Resumen

El estudio se efectuó en el municipio de Llallagua, Provincia Rafael Bustillo del departamento de Potosí, a una altitud de 3815 msnm. El objetivo principal fue de diseñar un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) automatizado bajo invernadero para la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en el municipio de Llallagua. Para el efecto, se dispuso de un invernadero, donde se instalaron dispositivos electrónicos para el suministro automático de nutrientes a las plantas, posteriormente, se determinó la productividad global del sistema productivo y la evaluación económica del mismo. Los resultados mostraron alta eficacia en el funcionamiento del sistema automatizado; pero, baja productividad, porque el trabajo solo abarcó una cosecha, teniéndose un costo elevado de producción y, la evaluación económica de beneficio costo, resultado favorable, asumiéndose que el sistema puede implementarse incluso en áreas urbanas.

Palabras clave: productividad, sistema productivo.

Hydroponic System Automated under Greenhouse for Production of Lettuce (*Lactuca sativa L.*)

Ayanoma Jarro, I., Álvarez Cabrera, H.

Abstract

The study was carried out in the municipality of Llallagua, Rafael Bustillo Province of the department of Potosí, at an altitude of 3815 meters above sea level. The main objective was to design an automated NFT (Nutrient Film Technique) hydroponic system under a greenhouse for the production of lettuce (*Lactuca sativa L.*) in the municipality of Llallagua. For this purpose, a greenhouse was available, where electronic devices were installed for the automatic supply of nutrients to the plants, later, the global productivity of the productive system and its economic evaluation were determined. The results showed high efficiency in the operation of the automated system; but, low productivity, because the work only covered one harvest, having a high production cost and, the economic evaluation of cost benefit, was favorable, assuming that the system can be implemented even in urban areas.

Keywords: productivity, productive system.

Introducción

En el contexto mundial, la hidroponía, se desarrolló inicialmente en Europa. Desde esa época, este sistema de cultivo, fue destinado principalmente a la producción de hortalizas de alta calidad, y difundido por un gran número de países. (Beltrano, 2015)

En Bolivia, varios departamentos como Cochabamba, Oruro, Santa cruz, y Chuquisaca, ya ingresaron al manejo de la agricultura urbana y periurbana en sistema hidropónico NFT mediante cultivos de hortalizas, reportando resultados satisfactorios en las familias consumidoras y los mercados locales.

En el Departamento de Potosí, la hidroponía se ha aplicado en las provincias haciendo uso de tecnologías más sencillas y posibilitando menores costos a las familias productoras, principalmente en zonas de extrema pobreza, como una manera de incentivar el autoconsumo de lechuga y de apoyar el ingreso familiar a través del autoempleo en las propias viviendas o en los centros comunales.

En el municipio de Llallagua, los fenómenos climatológicos son adversos, ya que se presentan con frecuencia, fenómenos recurrentes de heladas, granizadas, y variaciones adversas del régimen pluviométrico anual. Por lo mismo, es preciso pensar en novedosos sistemas de producción de hortalizas, como son los sistemas hidropónicos, que irán a satisfacer la creciente demanda de la población.

La Hidroponía constituye una técnica que permite cultivar y producir plantas sin emplear suelo, obteniendo hortalizas de excelente calidad y sanidad, asegurando un uso más eficiente del agua y fertilizantes, con lo cual, es posible mejorar considerablemente la economía del productor agrícola. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor densidad y elevada productividad por planta.

La técnica de producción agrícola hidropónica, muy poco se ha desarrollado. El estudio, busca contribuir en el mejoramiento de dicha técnica, de manera que, en el mediano plazo, muchas familias tengan la oportunidad de contar con este sistema. en ese escenario se tiene planteado los siguientes objetivos. Como objetivo

general, diseñar un sistema hidropónico NFT automatizado bajo invernadero para la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en el municipio de Llallagua y, cuyos objetivos específicos son (1) establecer un sistema de control automatizado para la puesta en marcha del sistema hidropónico NFT, (2) determinar la productividad para el cultivo de lechuga y (3) efectuar un análisis económico del sistema productivo.

Materiales y Métodos

Ubicación

El trabajo dirigido se desarrolló en la comunidad de Sacamarca perteneciente al municipio de Llallagua, provincia Rafael Bustillo del departamento de Potosí, país Bolivia, limita al Noroeste con el Área de Tecnología de la Universidad Nacional “Siglo XX”, al Este con la laguna el K’enko, al Sur con la Carretera Diagonal “Jaime Mendoza”. Geográficamente se encuentra entre las coordenadas 18° 23’ 07” latitud Sur y 66° 30’ 40” longitud Oeste a una altitud de 3815 msnm.

Materiales

Los materiales y equipos utilizados en el estudio se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales y equipos utilizados en la investigación

Materiales de construcción		
Agrofilm	250 micras	Parte de la estructura del invernadero
Listones	2,5”x2,5”	Se utilizó para el armazón del invernadero
Puntales eucalipto		Para los soportes del invernadero
Materiales para el sistema hidropónico NFT		
Tanque de agua		Para almacenar el agua un tanto de 100 litros
Electro-bomba		Es de 0.5 HP, para bombear agua del tanque
Tubos PVC 1/2”y 3”		Para la conducción de nutrientes a las plantas
Peachímetro Solución nutritive		Para medir el pH del agua Nutriente para las plantas
Conductivímetro		Permitió medir la conductividad eléctrica de la solución nutritiva
Equipos		

Placa arduino Mega	CPU del sistema electrónico
Placa protoboard	Placa electrónica para las conexiones de corrientes
Relés	Dispositivo electrónico para el cambio de voltajes en dispositivos
Cables conectores	Para realizar la conexión de los distintos dispositivos.
Sensor de Temperatura	Para medir la temperatura del ambiente
Ventilador	Para acondicionar de aire el recinto invernadero
Computador	Para el procesamiento de información

Métodos

Enfoque de sistemas

Constituye el método que proporciona una orientación general para el estudio de los fenómenos involucrados, como una realidad integral formada por componentes que cumplen específicas funciones y mantienen vínculos estables de interacción dinámica entre ellos. En el caso del estudio, se estableció tres sistemas específicos, el ambiente de invernadero, la integralidad de dispositivos electrónicos y el sistema del proceso de producción de lechuga. Bajo este enfoque, fue posible el manejo sincronizado de los sistemas.

Análisis de contenido

Este método permitió realizar abstracciones de ideas y conclusiones específicas y generales, constituyen fuente y base para la construcción de la teoría sobre la práctica laboral.

Establecimiento de un sistema de invernadero para la producción de lechuga

El invernadero atrapa la energía solar directa para aumentar y mantener la temperatura interna. Como parte de su estructura, se utilizó una cubierta de agro film con espesor de 250 micras.

Implantación del sistema hidropónico de tipo NFT

El sistema hidropónico de tipo NFT (tecnología de película nutritiva re circulante), que básicamente consiste en el armado de tuberías de distribución de solución nutritiva, tuberías de

recolección y canales de cultivo donde se encuentran insertas las plantas de lechuga con el sistema radicular circulante. Estas tuberías de distribución están alimentadas de solución nutritiva A y B, la misma que circula por el sistema impulsada continuamente por una electrobomba.

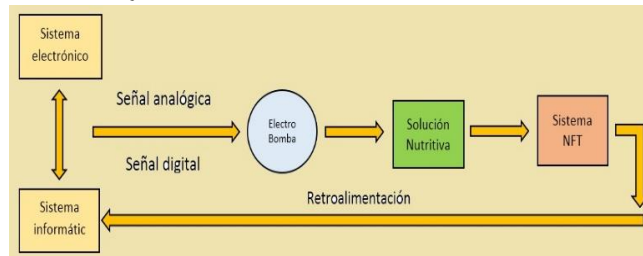
La solución nutritiva consta de agua con oxígeno y de todos los nutrientes esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de fierro y de algún otro macro y micronutriente que puede estar presente. Entre los elementos esenciales de las soluciones nutritivas tenemos los macronutrientes: nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y los micronutrientes: boro, Cobalto, hierro, manganeso, molibdeno y zinc.

Los parámetros utilizados para controlar la calidad de la solución nutritiva del sistema hidropónico son los siguientes: pH de la solución nutritiva cuidando siempre los valores próximos a la neutralidad, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto y temperatura del medio.

La CE indica el contenido de sales de la solución nutritiva, a mayor CE mayor el contenido de sales, es importante el control de este parámetro para lograr un buen desarrollo de las especies vegetales. De la misma manera, la oxigenación de la solución nutritiva se efectúa en el transcurso de la circulación nutritiva. (Flores & González, 2020).

La temperatura del ambiente del invernadero; se estableció en una media de 23°C a 26°C, para ello se utilizó un ventilador.

Figura 1. Esquema funcional del sistema automatizado NFT



Sistema electrónico de automatización

La automatización del sistema hidropónico, se efectuó en base a circuitos

electrónicos controlados por una placa electrónica inteligente en base a microprocesadores electrónicos que básicamente representa el cerebro del sistema, también se usó sensores de control remoto mediante los cuales, permitió efectuar un seguimiento riguroso, vinculado a un dispositivo electrónico de salida de información con características de control en tiempo real.

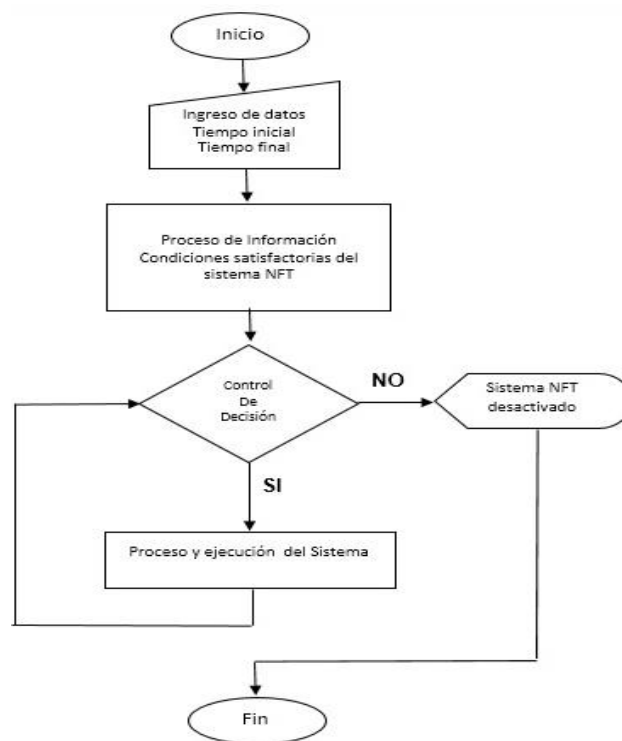
En tecnologías de esta naturaleza es menester la utilización de dispositivos de control sistémico directo, capaz de controlar de manera efectiva la funcionalidad del sistema agrícola productivo, en un escenario de producción intensiva. Para su correcta intervención, debe diseñarse un algoritmo pertinente que sustente un código fuente acorde a los objetivos de la práctica laboral.

La automatización del sistema implicó la estructuración técnica del sistema electrónico e informático. Para efectivizar su funcionalidad, una electrobomba está directamente asociada al sistema, el mismo activa el trabajo efectivo de la solución re circulante a través de las tuberías de conducción en el sistema hidropónico NFT.

Programación informática

Para el efectivo funcionamiento del sistema, se aplicó un código fuente en lenguaje de programación JAVA contemplado en plataforma ARDUINO MEGA, de manera que la base del control automatizado este enteramente programado en base a datos e insumos informáticos necesarios. Para una mejor comprensión acerca del funcionamiento del sistema, se presentó el siguiente flujograma de la Figura 2.

Figura 2. Flujo del Control Informático



Para un correcto funcionamiento del sistema NFT es necesario ingresar los datos correctos en la computadora, de manera que el proceso de información sea la más óptima. Bajo estas condiciones el sistema hidropónico alcanzó una funcionalidad óptima ON, de lo contrario, se encontró en condición OFF, vale decir, en receso

Determinación de la productividad global

Dado que el sistema hidropónico automatizado constituyó una tecnología de innovación tecnológica, es necesario medir su efectividad relativa. Para ello, se utilizó el método PGF (Productividad Global de los Factores) propuesta por Lema, D. (2018). Este método se vincula directamente con el cambio tecnológico y, en términos operativos la PGF es definida por la Ecuación (1).

$$PGF = \frac{y}{x} \quad (1)$$

Dónde: PGF mide el producto producido "y" por unidad de insumo agregado "x", por lo mismo, la tasa de crecimiento de la productividad será la tasa de crecimiento del producto menos la tasa de crecimiento de los insumos, cuyo modelo matemático se muestra en las Ecuaciones (2) y (3).

$$\ln(PGF) = \ln\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2)$$

$$\ln(PGF) = \ln y - \ln x \quad (3)$$

Análisis económico del sistema productivo

Se efectuó un análisis económico de todo el sistema productivo, para ello se utilizó los siguientes métodos:

- Método de flujo de caja económica, que permitió determinar los ingresos y egresos netos del estudio.
- Indicadores de rentabilidad, en base al Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Relación Beneficio Costo.

Resultados y Discusión

Sistema hidropónico

Está constituido por una red de tuberías (Figura 3), que cumplen la función de distribuir la solución nutritiva hacia los canales de cultivo; la dimensión de estos depende del volumen que transportarán a través del sistema. Están conectados al tanque de almacenamiento mediante una tubería de alimentación y otra de recepción.

Figura 3. Tanque de recepción de solución nutritiva



Sistema de automatización y control

Se automatizó el sistema hidropónico NFT, con un equipo Timer Digital, que consta de 6 componentes: palanca Térmica, placa Arduino Mega, Relé, protoboards, cables conectores y Programador. Posterior a la instalación de accesorios, se procedió con la programación (horario de encendido y apagado); el equipo

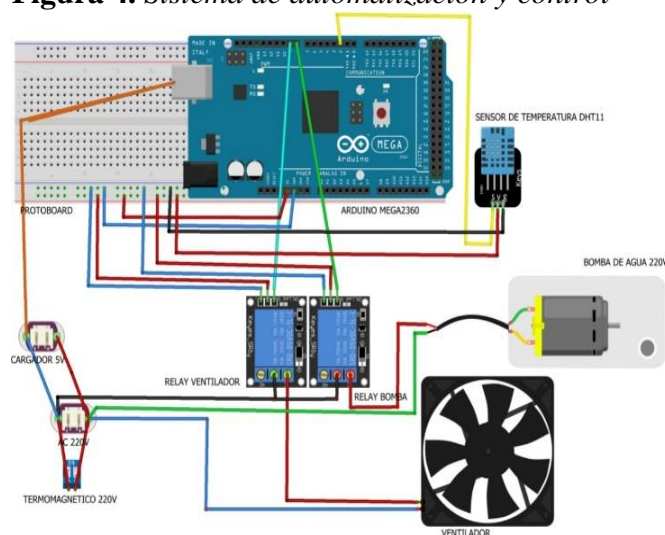
Timer cuenta con 3 tiempos que determina la frecuencia de riego diario (Tabla 2).

Tabla 2. Frecuencia de suministro de solución nutritiva

Nº	Horas	Tiempo de encendido	Tiempo de apagado
1	06:00 a 10:00	Cada 10 min	Cada 20 min
2	10:00 a 15:00	Cada 10 min	Cada 10 min
3	15:00 a 19:00	Cada 10 min	Cada 20 min

La Figura 4, muestra la conexión de dispositivos del sistema de automatización y control

Figura 4. Sistema de automatización y control



Sistema productivo

Primeramente, se preparó la solución nutritiva, cuidando el pH próximo a la neutralidad y la conductividad eléctrica de 572 a 647 ppm. Luego se preparó el almácigo para el tratamiento de la semilla, cuya germinación y posterior desarrollo duró un período de 14 días; posterior a ello, se trasplantó las pequeñas plantas de lechuga ya enraizadas a los canastillos receptores ubicados en las tuberías de conducción del sistema hidropónico hasta concluir con el periodo fenológico

Figura 5. *Trasplante de lechugas hasta la producción*



Descripción estadística

Número de hojas a la cosecha

Tabla 3. *Distribución de frecuencias para el número de hojas en cosecha*

Li	Ls	MC	f	F	h	H
3	5	4	9	9	10	10
5	8	7	5	14	6	16
8	10	9	24	38	27	42
10	13	12	15	53	17	59
13	15	14	18	71	20	79
15	18	17	11	82	12	91
18	20	19	8	90	9	100
			90		100	

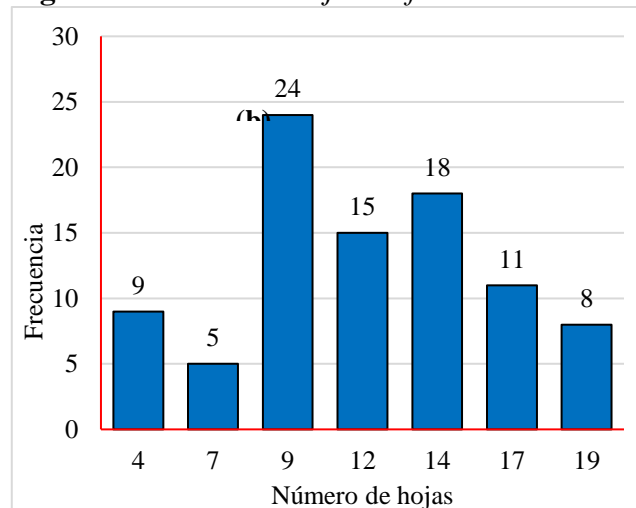
Nota.: Li: límite inferior, Ls: límite superior, MC: marca de clase, f: frecuencia absoluta, F: frecuencia absoluta acumulada, h: frecuencia relativa, H: frecuencia relativa acumulada.

La Tabla 3 muestra que un número de 3 a 8 hojas se observaron en 14 plantas que constituye el 16% de un total de 90; de 8 a 15 hojas, en 57 plantas y constituye el 63%, y de 15 a 20 hojas observados en 19 plantas que constituyen el 21%.

Según Quispe, V. (2018) el número de hojas alcanzado por una variedad de lechuga rizada en condiciones hidropónicas de tipo NFT realizada en la ciudad de El Alto (La Paz), fue de 16. Para el caso del estudio presente, en promedio se obtuvieron de 15 a 20 hojas en el 84% de la población de estudio, considerando un ambiente atemperado de carpa solar. Efectuando un análisis analógico, se puede manifestar que el desarrollo foliar del cultivo de lechuga, fue satisfactorio.

La Figura 6, permite apreciar de manera objetiva, las variaciones relativas descritas:

Figura 6. *Número de hojas en fase de cosecha*



Productividad global del cultivo de lechuga

Para el cálculo de la productividad global, se consideraron los siguientes componentes:

Tabla 4. *Productividad global de la producción de lechuga*

Insumos	Cantidad por año	Costo
Técnico responsable	48 h/año	200Bs/hora, 9600 Bs/año
Electrobomba	1 pieza	100 Bs año ⁻¹
Solución nutritiva	1 kg	150 Bs año ⁻¹
Sistema electrónico	1 equipo	200 Bs/año
Energía eléctrica	20 kW hora ⁻¹	120 Bs/año
Producción (5 cosechas/año)	450 plantas	3 Bs/lechuga, 1350 Bs/año

Lema, D. (2018) Indica que, para obtener la productividad global (PG), se ha utilizado la Ecuación (4).

$$PG = \frac{\text{Valor de la producción}}{\text{Valor de factores utilizados}} \quad (4)$$

$$PG = \frac{[5 * 90 * 3]Bs \text{ año}^{-1}}{[1 * 9600 + 1 * 100 + 1 * 150 + 1 * 200 + 1 * 120]Bs \text{ año}^{-1}}$$

$$PG = 0,13 Bs \text{ año}^{-1}$$

De acuerdo al cálculo de la Productividad Global, se observa que, por cada 1 Bs invertido en los factores de producción utilizados, se obtiene un valor de 0,13 Bs en la producción de lechuga. Este resultado indica que el valor de la producción

en términos monetarios, es menor al valor monetario de la utilización de los factores de producción, lo cual refleja una baja productividad.

La productividad global será mayor que uno, en la medida en que se produzca más cantidad de lechuga. Para un sistema hidropónico de 750 plantas, se obtendría una productividad de 1,1. Ello implicaría utilizar 50 tuberías de PVC en el mismo espacio, optimizándose de esta forma, el sistema productivo.

Análisis económico del sistema productivo

Tabla 5. Flujo de caja económica

Años de vida útil	0	1	2	3	4	5
Ingresos						
Venta de lechuga		1350	2700	2700	2700	2700
Valor residual de la electrobomba						200
Costos						
Costos variables		-310	-620	-650	-670	-700
Costos fijos		-3759				
Depreciación de la electrobomba		-56	-56	-56	-56	-56
Resultado antes del impuesto		-2775	2136	2106	2086	2256
Impuesto IUE (25%)		0	0	0	0	0
Resultado después del impuesto		-2775	2136	2106	2086	2256
Resultado operativo neto		-2775	2136	2106	2086	2256
Inversión	-1765					
Flujo de efectivos	-1765	-2775	2136	2106	2086	2256

La depreciación anual del activo electrobomba se determinó utilizando el método de la línea recta, cuya ecuación según Meza Orozco, J. (2013) es la siguiente:

$$D_{AN} = \frac{C_o - C_n}{n} \quad (5)$$

Dónde: C_o es la inversión inicial (Bs 480), C_n la inversión al final de su vida útil (Bs 200), n es la vida útil en años (5 años).

$$D_{AN} = \frac{480 - 200}{5} = Bs 56$$

En base a la depreciación anual calculada, se determinó la depreciación acumulada

Para la valoración económica del sistema productivo, se efectuó el flujo de efectivo económico proyectado a 5 años de vida útil, Bs año⁻¹, donde no se consideró el impuesto a las utilidades de la empresa (IUE), debido a que no constituye un proceso económico de tipo empresarial, tampoco, no se realizó inversiones en activos de magnitud relevante para considerarlo como inversión en activos fijos, intangibles o diferidos, razón por la cual, en el flujo de caja, no consta el valor de desecho del proyecto.

Tabla 6. Depreciación acumulada de la electrobomba

Año	Depreciación anual	Depreciación acumulada	Valor electrobomba
0			480
1	56	56	424
2	56	112	368
3	56	168	312
4	56	224	256
5	56	280	200

Como se puede observar en la Tabla 6, el valor de salvamento de la electrobomba es de Bs 200, como consta en el análisis de flujo de caja. Con los flujos netos proyectados, se determinó el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), teniéndose el siguiente resultado:

VAN	Bs 1.564,94
TIR	26 %

Posteriormente se determinó la razón beneficio costo (Razón B/C):

Datos: (Quispe, 2018)

Valor actual de los beneficios	Bs 3.329,94
Valor actual de los costos	Bs 1.765
Razón B/C	1,8

El VAN calculado muestra en el proceso productivo una rentabilidad económica de Bs 3.329, lo cual, es atractivo para la ejecución del trabajo.

La TIR es de 26% que es mayor a la tasa de oportunidad con la que se trabajó con el 12% en el cálculo de la actualización de los beneficios netos en el flujo de caja efectuado, por lo que, dicho indicador también demuestra la rentabilidad del trabajo, la Razón B/C de 1,8.

Determinación del punto de equilibrio

Su cálculo está determinado por la intersección de las curvas: Ingreso por venta y la cantidad de producto producido. El punto de intersección se constituye en el punto de equilibrio, y tiene como coordenadas: Pe (Q_e, Y_e), en la que, Pe es el Punto de equilibrio, Q_e es la cantidad de equilibrio y Y_e el ingreso de equilibrio.

Determinación de la cantidad de equilibrio

Para su cálculo se utilizó la Ecuación 6 donde también Sapag Chain (2014) aplica esta ecuación.

$$Q_e = \frac{CFT}{P - CVM_e} \tag{6}$$

Dónde: P es el Precio unitario, Q_e la cantidad de producción de equilibrio, CVM_e el costo variable medio, CFT el costo fijo total, CVT el costo variable total

Para el efecto, se cuenta con los siguientes datos:

- Datos:
- CVT = Bs 310
- CFT = Bs 3759
- P = Bs 3
- Q = 450 unidades de lechuga

Cálculo:

$$CVM_e = CVT/Q$$

$$CVM_e = 310/450 = 0,68 \text{ Bs.}$$

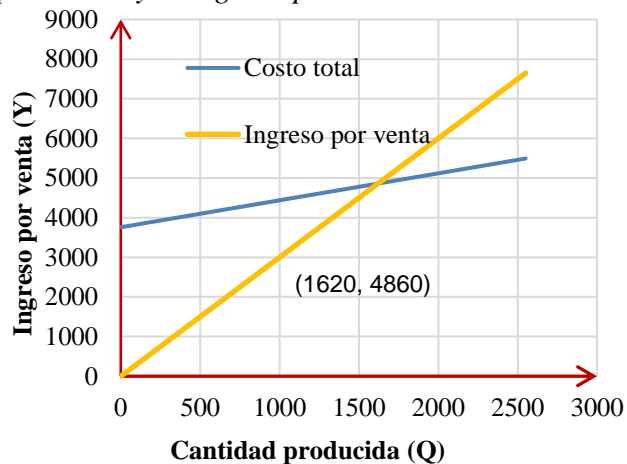
$$Q_e = \frac{3759}{3 - 0,68} = 1620 \text{ lechugas}$$

Determinación del ingreso de equilibrio

$$Y = 3 * 1620 = \text{Bs } 4860$$

En base a la cantidad e ingreso de equilibrio, se obtuvo el siguiente gráfico de punto de equilibrio.

Figura 7. Punto de equilibrio entre la cantidad producida y el ingreso por venta



De acuerdo a la Figura 7, el punto de equilibrio entre la cantidad producida mínima y el ingreso por venta de equilibrio, deben ser de 1.620 lechugas y Bs 4.860, respectivamente. Quiere decir que, mediante el sistema productivo, se debe obtener un número mayor de plantas de lechuga al número especificado, de manera que, pueda obtenerse ingresos a partir de dicha producción.

Tabla 7. Proyección de ingreso en base al punto de equilibrio

Año	Nº plantas producidas	Nº plantas producidas acumuladas	Ingreso (Bs)
1	450	450	1350
2	900	1350	4050
3	900	2250	6750
4	900	3150	9450
5	900	4050	12150

En términos de período productivo para alcanzar el ingreso por ventas, efectuando un análisis, se obtendrán ingresos a partir del tercer año como se puede apreciar en la Tabla 7.

Proyectando a los 5 años que constituye el horizonte de la producción, los ingresos obtenidos serán superiores al ingreso de equilibrio a partir del tercer año; ello considerando un mejoramiento en el sistema productivo, ya que a partir del Segundo año, se producirán el doble de plantas de lechuga.

Conclusiones

El sistema de invernadero permite una mejor absorción y asimilación de nutrientes, favoreciendo en la fisiología de las plantas, posibilitando el acortamiento de su fase fenológica hasta la cosecha.

El sistema hidropónico re circulante NFT automatizado requiere de una adecuada instalación de dispositivos electrónicos de tipo analógico y digital, los cuales, deben estar correctamente sincronizados, de manera que, su funcionamiento efectivo permita un desarrollo eficiente de las plantas hasta la cosecha.

El sistema hidropónico re circulante NFT automatizado permite un crecimiento homogéneo de las lechugas, debido a que la administración de la película de nutriente en el sistema de producción, es equitativo, sincronizado y homogéneo, en todos los puntos de las tuberías de conducción de manera que los sistemas radiculares de las plantas, absorben los nutrientes de forma eficiente y en periodos de tiempo precisos, ya que el sistema automatizado se encuentra programado.

El cultivo hidropónico bajo el sistema NFT, permite una producción de lechuga libre de plagas y enfermedades, además, la calidad del producto a la finalización del periodo fenológico es buena, en su presentación libre de tierra, color atractivo y buena textura.

Proyectando en el flujo de caja económico, la producción de 450 plantas por año, en 5 cosechas para el mismo espacio utilizado a partir del segundo año, se obtienen ingresos por ventas favorables a partir del 3er año; asimismo, en el análisis económico, el valor actual neto del flujo de efectivo obtenido es de Bs 1.564, descontando

costos directos, indirectos e inversión; lo cual indica que el sistema productivo es atractivo.

La TIR calculada es del 26%, lo que indica que el sistema productivo puede asumir una tasa de interés máxima hasta ese nivel. La actualización del flujo de efectivo, se realizó considerando un costo de oportunidad del capital invertido del 12%, valor de la tasa de interés anual que utilizan las entidades bancarias.

Referencias Bibliográficas

- Beltrano, J. (2015). *Cultivo en hidroponia*. Buenos Aires, Argentina: UNLP.
- Flores, M., & Gonzáles, E. (2020). *Manejo de solución nutritiva*. Chile: CORE.
- Lema, D. (2018). *Medición del cambio tecnológico, la productividad y la eficiencia en el sector agropecuario*. Argentina.
- Meza Orozco, J. (2013). *Evaluación financiera de proyectos* (3ra ed.). Colombia: ECOE.
- Quispe, E. (2018). *Evaluación de la eficiencia del sistema nft en dos tiempos*. El Alto (La Paz, Bolivia): Facultad de Agronomía UMSA.
- Sapag Chain, N. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. Mexico D.F.: MacGrawHill Interamericana