



UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
RECTORADO - VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA



REVISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Nº 2 / 2013

Biósfera

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola
(IINEA)



Carrera de Ingeniería Agronómica

Biósfera

**Instituto de Investigación y Extensión Agrícola
Carrera Ingeniería Agronomica**

UNIVERSIDAD BOLIVIANA

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

Ing. Lourdes Martinez Estévez
RECTORA a.i. UPEA

Arq. Nancy Daza Cusicanqui
VICERRECTORA a.i. UPEA

Ing. Silvia Aquino Tarqui
DIRECTORA a.i.
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA - DICYT, UPEA

Dr. Ing. Humberto Sainz Mendoza
DIRECTOR DE CARRERA
INGENIERÍA AGRONÓMICA

Ing. Laoreano Coronel Quispe
COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
AGRÍCOLA - IINEA, INGENIERÍA AGRONÓMICA

Portada

Ing. Laoreano Coronel Quispe

Diagramación e Impresión
Imp. Marquez Marca

Depósito legal: 4-3-59-13 P.O.

® DERECHOS RESERVADOS
Instituto de Investigación y Extensión Agrícola - IINEA,
Carrera de Ingeniería Agronómica

Primera Edición: diciembre 2013

www.upea.edu.bo

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n
Zona Villa Esperanza

Telefonos: (+591) 2-2844177 - (+591) 2845787
Fax: (+591) 2-2845800

El Alto - Bolivia

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL POR CUALQUIER MEDIO
SIN PREVIA AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES

Cada investigación es responsabilidad del autor.

REVISTA BIOSFERA

BIOSFERA

Es la revista de ciencia y tecnología que nace con el claro propósito de servir de canal de divulgación para investigadores y pensadores de la comunidad universitaria de carrera de Ingeniería Agronómica. Se constituye en una plataforma de proyección de nuevas perspectivas, posturas de académicos y jóvenes investigadores; contribuyendo al análisis, la reflexión, el debate y la crítica del desarrollo agrícola, pecuario y forestal.

Misión

Publicar y comunicar los resultados de las investigaciones realizadas por estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica que se dedican a construir ciencia e innovación en áreas relacionadas a la agronomía, pecuaria y forestal a nivel local y nacional.

Visión

Constituirse en una revista científica caracterizada por la calidad de su publicación y actualidad de sus temas, acorde con los lineamientos internacionales y que integre a todos los participantes relacionados con el ámbito agrícola, pecuario y forestal.

Comité editor:

Ing. Laoreano Coronel Quispe
Dr. Félix Marza Mamani
Dr. Francisco Mamani Pati

Traducción y revisión de abstract:

Dr. Félix Marza Mamani
Dr. Francisco Mamani Pati

THE HISTORY OF THE

REPUBLIC OF THE UNITED STATES

OF AMERICA

FROM 1776 TO 1876

BY

JOHN P. FLETCHER

OF THE

NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION

1876

NEW YORK

1876

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

NEW YORK

PRESENTACIÓN

Con este nuevo número, la revista Biósfera se consolida como el principal medio de divulgación de resultados de la investigación generada en la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, la misma que viene mostrando sus pasos firmes en la investigación de vanguardia en el ámbito agropecuario a nivel nacional e internacional.

Actualmente bajo el paraguas del Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales de la UPEA, Biósfera se viene centrando en aquellas aportaciones relevantes al desarrollo de la ciencia agronómica, pecuaria y ambiental en el País. En este sentido, los artículos científicos ahora publicados, han sistematizado diversas experiencias y conocimientos innovadores sobre cultivos andinos, ganadería camélida, forrajes, biotecnología y otros temas relevantes. Dentro del amplio espectro de temas en los que se investiga, también se han incluido trabajos sobre etnoclimatología, tecnologías ancestrales, tratamiento de aguas, bioabonos y otros temas de actualidad. Todos estos trabajos son el fruto del esfuerzo de los miembros de nuestra comunidad universitaria, desde estudiantes, egresados, docentes e investigadores de amplia experiencia, han procurado mantener un buen nivel en cuanto a la calidad de los trabajos publicados.

En este contexto y teniendo en cuenta la importancia y relevancia socioeconómica de los problemas y desafíos que ofrece el campo agronómico, creemos que la revista puede servir como catalizador de debates, diálogos y de futuros trabajos académicos, además de servir de crisol de puntos de vista y fuente de enriquecimiento profesional. Con estas pretensiones y partiendo de la idea de constituir a Biósfera como un ejemplo; invitamos y animamos a toda la comunidad universitaria a utilizarla como un digno altavoz para sus futuros trabajos de investigación y esperamos corresponder con la consolidación de los niveles de calidad exigidos por toda la comunidad científica.

Dr. Ing. Humberto Sainz Mendoza
DIRECTOR DE CARRERA – ING. AGRONÓMICA

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

Aspectos históricos

acordando convenios interinstitucionales nacionales e internacionales para la transferencia tecnológica, asistencia técnica, investigación científica, intercambio de recursos humanos en concordancia con la ley de fomento a la ciencia y tecnología para la industrialización de los recursos naturales en forma racional y sostenible a partir de líneas de investigación adecuadamente determinadas que generen bienestar y prosperidad a los bolivianos.

Naturaleza Jurídica e Institucional

La Universidad Pública de El Alto es una institución de educación superior, científica, productiva, autónoma, pública, laica, gratuita, multinacional y pluricultural. Forma parte del sistema de la Universidad Pública Boliviana en igualdad de derechos, condiciones y de jerarquía con las restantes universidades públicas autónomas, en conformidad al Artículo 92 de la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia.

Misión

Formar profesionales integrales altamente calificados en todas las disciplinas del conocimiento científico tecnológico, con consciencia crítica y reflexiva; capaz de crear, adaptar y transformar la realidad en la que vive; desarrollar la investigación productiva para fomentar el desarrollo local, regional y nacional para que responda al encargo social y las necesidades de las nacionalidades de manera eficiente y oportuna hacia la transformación revolucionaria de la sociedad.

Visión

La Universidad Pública de El Alto es una institución que se proyecta al desarrollo de sus actividades académicas productivas, científicas, tecnologías de interacción social contemporáneas para priorizar la investigación científica en todos los campos del conocimiento, relacionando la teoría con la práctica para transformar la estructura económica, social, cultural y política vigente a favor de las naciones originarias y clases populares.

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA (DICyT)

El Estatuto Orgánico de la Universidad Pública de El Alto, en el Art. 15 establece que la UPEA es Científica, porque genera conocimiento a través de la investigación en todos sus niveles, utilizando la ciencia y las tecnologías modernas para adecuarla a nuestra realidad. Es una universidad que en el campo de la ciencia y la tecnología tiene la misión de revalorizar, recuperar, crear y proyectar los conocimientos y las culturas de los pueblos originarios para plantear propuestas de solución a los distintos problemas locales, departamentales y nacionales.

La Dirección de Investigación, Ciencia y Tecnología (DICyT) en correspondencia al Estatuto Orgánico de la Universidad Boliviana y el Estatuto Orgánico de la UPEA, es la encargada de organizar, coordinar, promover, evaluar, hacer seguimiento y normar el sistema de investigación, ciencias y tecnología en la Universidad Pública de El Alto.

Objetivos

- Desarrollar el sistema de investigación científica y tecnológica de la Universidad Pública de El Alto.
- Definir un conjunto de normas y procedimientos que regulen el desarrollo de programas prioritarios de investigación científica y tecnológica en la Universidad Pública de El Alto.
- Vincular la gestión de la investigación científica y tecnológica a los problemas locales, regionales y departamentales.
- Fortalecer la integración de la investigación científica y tecnológica a través del proceso de aprendizaje en las carreras de la Universidad Pública de El Alto.

La función de la UPEA es desarrollar procesos de formación profesional de generación y divulgación de conocimientos orientados al desarrollo integral de la sociedad, para lo cual toma los conocimientos universales y los saberes colectivos de las naciones y pueblos indígena originario campesinos (Art. 91, CPE). La UPEA a través de la DICyT debe detectar, analizar y resolver científicamente los problemas políticos, económicos y sociales de su pueblo en su vínculo estrecho entre universidad y sociedad; desarrollar y difundir ciencia, tecnología y cultura dentro y fuera de la universidad.

La Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología tiene la finalidad de hacer tangible el aporte al desarrollo económico y social, sustentable de las regiones y del país, con actividades de investigación científica e innovación tecnológica

A la fecha, la Universidad Pública de El Alto cuenta con normas y procedimiento que regulan la actividad investigativa y tecnológica. Asimismo, los institutos de investigación de las diferentes carreras de la UPEA han logrado establecer sus políticas y líneas de investigación científica con la participación de docentes y estudiantes para desarrollar investigaciones en diferentes campos y áreas de las ciencias.

De esta manera, la DICyT cumple con dos de sus objetivos planteados, el de desarrollar

la investigación científica y tecnológica en la UPEA y la de definir un conjunto de normas y procedimientos para llevar a cabo programas de investigación científica y tecnológica.

Presentamos a la sociedad científica el presente documento que permite a la UPEA establecer el rumbo de la investigación

científica en las diferentes áreas del conocimientos reflejadas en las carreras y que constituye el norte en la investigación

que coadyuve a la solución de problemas de nuestro entorno, siendo éste el aporte de la universidad a la sociedad en su conjunto.

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Antecedentes

La creación de la carrera de Ingeniería Agronómica tiene el mismo proceso que la fundación de la Universidad Pública del El Alto y ligada a las otras carreras debido a la necesidad de la población alteña que demanda profesionales de esta área dada la implicancia y al importancia agropecuaria para el país. Ley N° 2556 de fecha 12 de noviembre de 2003 le concede plena autonomía universitaria conforme al mandato constitucional a la Universidad Pública de

El Alto y por ende a la carrera de Ingeniería Agronómica inicialmente de denominó Ingeniería Agropecuaria, perteneciente al Área de Salud y Medio Ambiente, aunque su relación académica es próxima a la Tecnológica donde la carrera se proyecta a ser una facultad donde las semiespecialidades lleguen a constituir en carreras.

Objetivos Pedagógicos

Competencias en la línea curricular producción vegetal

- Tiene sólidos conocimientos de la anatomía, taxonomía, fisiología y procesos bioquímicos de las plantas.
- Es capaz de planificar, coordinar y ejecutar la producción agrícola, con criterios de sostenibilidad y conservación de los recursos naturales.
- Es capaz de implementar proyectos de investigación para mejorar las técnicas de producción y manejo ecológico, integrado de plagas y enfermedades.
- Comprende los procesos bioquímicos de las plantas y los principios y aplicaciones de la genética.

- Tiene conocimientos sólidos para el mejoramiento de cultivos para incrementar su rendimiento y calidad.

Competencias en la línea curricular producción animal

- Posee sólidos conocimientos de zootecnia de especies menores y mayores que le permiten realizar producción pecuaria de calidad como componente de los agros ecosistemas.
- Tiene conocimientos necesarios de sanidad, nutrición y alimentación animal para realizar producción pecuaria eficientemente.
- Posee sólidos conocimientos de reproducción animal que le permitan un manejo adecuado de la producción pecuaria sin menoscabo de su calidad.
- Capaz de integrar la actividad pecuaria y agrícola con un enfoque de sistema de producción y con criterios de conservación de los recursos naturales.

Competencias en la línea curricular suelo y agua

- Posee la capacidad de caracterizar e interpretar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Tiene la capacidad para manejar y recuperar suelos contaminados.
- Posee conocimientos geológicos y mecánicos del suelo para implementar infraestructuras productivas e hidráulicas en el área rural.
- Posee la capacidad de caracterizar e interpretar las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua.

- Es hábil para medir e interpretar las variables climáticas.
- Posee conocimientos de hidrología aplicadas a actividades agropecuarias (precipitación, escorrentía, evapotranspiración potencial, evapotranspiración actual) para el manejo de cuencas.
- Es hábil para planificar e implementar infraestructuras hidráulicas con obras pequeñas, medianas y grandes.
- Diseña, implementa y maneja sistemas de riego

Competencias en la línea curricular forestal

- Comprende e interpreta las relaciones entre plantas y animales con su medio ambiente en el ecosistema forestal y agro ecosistema.
- Tiene capacidad para planificar el uso y conservación del recurso natural renovable (bosque)
- Posee la capacidad para diseñar e implementar sistemas agrosilvopastoriles sostenibles ecológica y económicamente.

Misión

Formar profesionales con alta capacidad técnica y científica, consciente del poder de conocimiento y comprometidos con el desarrollo rural sostenible, con libertad de pensamiento, dignidad, solidaridad, reciprocidad, respeto a la naturaleza y al prójimo, para responder con convicción frente a los grandes desafíos y oportunidades del mundo globalizado.

Visión

Constituirse en una unidad académica de excelencia, referente a nivel nacional e internacional, que forma jóvenes profesionales del país, para desempeñar

trabajos; en producción agrícola pecuaria y silvicultura, en diferentes pisos ecológicos para satisfacer de forma oportuna y eficiente a la demanda creciente de alimentos de la población.

EDITORIAL

La generación del conocimiento es una de las tareas centrales que prácticamente todas las universidades modernas tienen explícitamente establecido en sus bases fundacionales formales, así como en su autodefinición de la misión que están llamadas a cumplir. Esa actividad científica debe concluir con la comunicación y difusión de los resultados obtenidos al resto de la comunidad científica. La publicación constituye, en este sentido, el producto final de la investigación y la revista científica el instrumento empleado para la transferencia de información entre los productores y los usuarios.

La información que se reporta en la presente Revista, ha sido posibles gracias a la importante y desinteresada colaboración de los docentes: Dr. Félix Marza y Dr. Francisco Mamani, cuyo elevado rigor académico contribuyó a jerarquizar este volumen; de los autores que han confiado sus artículos, los lectores que con su fidelidad nos obligan a ser cada vez mejores y, claro, a la dedicación y compromiso del Instituto de Investigación y Extensión Agrícola y el equipo de trabajo. A todos ellos expreso mi gratitud y los invito cordialmente a seguir participando de los próximos reportes.

Debo recordarles que la Revista propone un sistema de convocatoria abierta de carácter permanente, dirigido hacia investigadores, docentes, estudiantes de la Carrera y del Área de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Recursos Naturales.

Ing. Laoreano Coronel Quispe
COORDINADOR

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA
INGENIERÍA AGRONÓMICA, UPEA

1. Identificación del problema

2.

3.

4.

5.

6.

7.

8.

9.

10.

11.

12. Conclusiones y recomendaciones

13.

14. Bibliografía

15.

16.

17.

18.

CONTENIDO

EVALUACIÓN AGROMORFOLÓGICA Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE DOCE ACCESIONES DE CAÑAHUA EN CONDICIONES DE KALLUTACA	17
ESTABLECIMIENTO IN VITRO DE DOS TIPOS DE EXPLANTE DE ULLUCO (<i>Ullucus tuberosus</i> L.) ECOTIPO KELLU	29
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE GRANO DE AVENA (<i>Avena sativa</i> L.) APLICANDO DIFERENTES NIVELES DE ESTIÉRCOL DE OVINO EN EL MUNICIPIO DE JESÚS DE MACHACA	35
CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS BIOMÉTRICOS EN LLAMAS (<i>Lama glama</i>) VARIEDAD KARA EN LA COMUNIDAD DE BOTULACA, CANTÓN ZONGO DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ	41
ANÁLISIS DE VARIABLES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS EN LINEAS DE TRIGO HARINERO DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE LA CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA, UPEA	53
ENRAIZAMIENTO IN VITRO EN <i>Maxillariavioleaceopunctata</i> (Orchidaceae) CON DIFERENTES REGULADORES DE CRECIMIENTO	59
ESTABLECIMIENTO Y MULTIPLICACIÓN INVITRO DE <i>Polylepis pepeii</i>	67
ETNOCLIMATOLOGIA COMO ESTRATEGIA PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANO E LA GRICULTURA FAMILIAR	77
EFFECTO DE LA ORINA HUMANA FERMENTADA EN EL RENDIMIENTO DE LA LECHUGA WALDMAN GREEN (<i>Lactuca sativa</i> L.) APLICANDO ORINA HUMANA FERMENTADA EN DIFERENTES TIEMPOS EN AMBIENTES ATEMPERADOS EN EL MUNICIPIO DE EL ALTO	87
EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL BIOL SOBRE CATORCE ACCESIONES DE PAPA NATIVA (<i>Solanum</i> ssp.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL KALLUTACAB1	99
DINÁMICA DEL AGUA EN SUKA KOLLUS EN CONDICIONES DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA - LAJA	107
NIVELES DE BIOL DE OVINO Y BOVINO EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA SUIZA (<i>Valerianella locusta</i> L.)	119
EVALUACION GERMINATIVA DE ESPECIES FORRAJERAS NATIVAS DEL ALTIPLANO NORTE	125
SISTEMA DE RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL URBANA DEL DISTRITO 7 DE LA CIUDAD DE EL ALTO.	133

EVALUACIÓN AGROMORFOLÓGICA Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE DOCE ACCESIONES DE CAÑAHUA

Agromorphological and yield components evaluation of twelve cañahua entries

Mayta, A.¹; Marza, F.²

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

¹ Investigador de la carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

² Docente de la materia de genética y ciclos experimentales, carrera de Ingeniería Agronómica, UPEA. (Ph.D. en Genética y Mejoramiento Molecular).

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

This paper reports the agromorphological and yield components of twelve cañahua entries. The study was established under random block design with four replications. The results show that the entries 455, 222, ILLPA-INIA and CUPI, were identified to be the promising ones with an average of 12.28, 10.58, 10.29 and 10.16 g²plant respectively. The yield component variables had a direct influence in grain yield. For entry 455 the coefficient of determination for the all plant system reached 36.5% and identified number of branches, biomass and plant height as the mean yield components. For entry 222, morphological characters that influenced yield explained 40.5% of the variation and the variables that significantly constituted yield components were number of branches, biomass and plant height. Likewise the previous ones, for Illpa-INIA entry the variables that contributed for yield components were number of branches and stem diameter, the coefficient of determination for this case reached 44.7%. Finally for Cupi entry the variability explaining yield for variables such as number of branches and biomass reached 36.4%. The variables that best described yield were number of branches and biomass.

Keywords: Cañahua, yield components

Resumen

Por la presente se reporta el comportamiento agromorfológico y componentes de rendimiento de doce accesiones de cañahua. El estudio se condujo bajo el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados muestran que las accesiones 455, 222, ILLPA-INIA y CUPI, resultaron ser los mejores, logrado producir en promedio 12.28; 10.58; 10.29; y 10.16 g²pl¹, respectivamente. Los componentes de rendimiento tuvieron influencia de manera directa en el rendimiento de grano. En la accesión 455, el coeficiente de determinación del sistema planta estimada alcanzó un 36.5%, y se constituyeron principales componentes de rendimiento, número de ramas, cobertura vegetal y altura de la planta. En la accesión 222 los caracteres morfológicos que influyeron en el rendimiento está explicada en un 40.5% y como mejor componente de rendimiento se ha constituido el número de ramas, cobertura vegetal y altura de la planta. En la accesión ILLPA-INIA, se constituyó como mejor componente de rendimiento, el número de ramas y diámetro del tallo. Las variables involucradas en su conjunto justifica que el sistema planta total definido fue 44.7% de la influencia directa. Accesión CUPI, los caracteres que influyeron en el rendimiento de grano está implicado en un 36.4% y con mejores caracteres morfológicos que lograron influir de manera directa son; número de ramas y cobertura vegetal.

Palabras clave: Cañahua, componentes de rendimiento.

1. Introducción

La cañahua, (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) es una especie originaria de la zona circundante al lago Titicaca, compartida entre Bolivia y Perú. La cañahua como cultivo andino, en los últimos años ha cobrado bastante interés, por sus cualidades nutritivas (14 a 19 % de proteína) que recupera su importancia en la producción, con potencial de mercadeo y capaz de garantizar la seguridad alimentaria regional y mundial (Mujica et al. 2002).

A pesar de que es una de las especies menos estudiadas, el cultivo está adaptado a condiciones agroecológicas imperantes de los 3000 hasta 4400 msnm. Se desarrolla mejor en suelos francos arcillosos con buen drenaje, muestra tolerancia a la salinidad, tolera periodos prolongadas de sequía, es susceptible a la humedad en las primeras fases de desarrollo, una vez establecida es muy resistente al frío. Estas características, despiertan un interés inusitado en su cultivo, en el mejoramiento genético, así como en la producción, que constituye ventajas económicas (Hurtado, 2008). Además, la cañahua tiene un potencial importante en la comercialización nacional e internacional y la demanda es cada vez más creciente, por sus características nutricionales y orgánicas, que son percibidos como alimentos exóticos y naturales, dietéticos, beneficiosos para la salud humana (Soto y Carrasco 2008).

En el mejoramiento del cultivo se estudian características de productividad; estas son identificadas por la capacidad de producción del cultivo que influyen en caracteres morfológicos según el ambiente estudiado (Mac y Paccapelo, 2003). El estudio del mejoramiento, muestra diversos aspectos de manejo y evoluciones en la investigación, que tienen influencia directa e indirecta en varios caracteres agronómicos. Por lo tanto, es importante tener mayor conocimiento del comportamiento de los mismos, de aquellos que tienen que ver con el rendimiento y que permita al mejorador, realizar una mejor selección de cultivares según

el ambiente y ajustar las tecnologías de manejo (Astegiano et al. 2003).

Aumentar el rendimiento del cultivo, implica la utilización de ciertas estrategias, entre las que se destaca; el estudio de los componentes de rendimiento, es decir, aquellas características morfológicas y reproductivas cuya interacción permita el rendimiento final (Abbott et al., 2009). En la mejora de las plantas, se han desarrollado varios trabajos con el análisis de correlación, siendo de gran importancia para el mejorador en la formulación de procedimientos apropiados para la selección. El coeficiente de correlación cuantifica, la magnitud y la dirección de los factores en determinados caracteres, pero no determina la exacta influencia de los efectos directos e indirectos (que esos caracteres tienen sobre el rendimiento). Un coeficiente de correlación entre dos variables se puede deber al efecto de una tercera variable o grupo de variables (Cruz y Regazzi 1997; Vencovsky y Barriga 1992). Para solucionar este problema, se desarrolló el análisis de sendero por Wright (1921), que ofrece una interpretación basada en relaciones de causa-efecto para cada variable, especificando la dirección en la que ejercen su influencia y valorando su importancia relativa dentro del sistema planta (Isidoro 2008).

El coeficiente de sendero es un método estandarizado de regresión simple que es de gran utilidad en la partición del coeficiente de correlación, tanto en el efecto directo como indirecto. El método analítico de sendero permite descomponer correlaciones entre dos variables (X e Y) en una suma del efecto directo de X sobre Y, y los efectos indirectos de X sobre Y, vía otras variables independientes en un sistema de correlaciones. El objetivo de análisis de sendero, es proveer posibles explicaciones causales de las correlaciones observadas entre una variable dependiente y una serie de variables independientes. También, indica cuáles son las características que están relacionadas directa e indirectamente al rendimiento y clasifica cuáles caracteres pueden estar o no, en el programa de selección para mejorar el carácter en consideración (Kuruvadi et al. 1993).

Gómez (2011) señala que los coeficientes de regresión estandarizados son los coeficientes de senderos. En cada modelo de regresión, los estimadores de los coeficientes de sendero se obtienen de manera usual por mínimos cuadrados en cada una de las regresiones, lo cual genera ecuaciones normales del modelo que equivale a una descomposición de los coeficientes de correlación. Una correlación se descompone en la suma de productos de coeficientes de cada sendero que conecta a las variables analizadas.

En el mejoramiento por medio de cualquier método, es necesario conocer su capacidad y el comportamiento morfológico, que influye en el rendimiento. El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar los componentes de rendimiento, a través el análisis de coeficientes de sendero.

2. Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en la campaña agrícola 2009 - 2010, en la Estación Experimental de Kallutaca perteneciente a la Universidad Pública de El Alto, localizada en la provincia Los Andes, segunda sección del municipio de Laja, al oeste del departamento de La Paz, situada a 16°31'28" de latitud sur, 68°18'30" de longitud oeste, a una altitud de 3901 metros sobre el nivel del mar y distante a 15 km de la ciudad de El Alto.

El material genético utilizado, estuvo constituido por 12 accesiones de cañahua. El estudio ha sido instalado en base a un Diseño de Bloques al Azar con 4 bloques, considerando 12 tratamientos, alcanzando un total de 48 unidades experimentales. Se registraron 6 caracteres morfológicos: número de ramas primarias (NRP), diámetro del tallo central (DTC), cobertura vegetal (CV), altura de la planta (HPL), peso de 1000 granos (PMG) y rendimiento de grano por planta (RDTO). Para ello se utilizó los descriptores para cañahua, descrito en 2005, por Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) y el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD).

Estadística descriptiva

Para la descripción y visualización de las variables independientes, se utilizó cálculos estadísticos de las medias, desvío estándar, coeficientes de variación y comparación de medias de Duncan, en razón de que el diseño permitió mantener la variación entre unidades experimentales y por efectos de tratamientos mantuvieron la variación entre bloques.

Análisis de varianza (ANVA)

Esta técnica tiene como objetivo, de identificar la importancia de la diferencia estadística entre e intra accesiones en estudio. Para su descripción, se efectuaron con el valor promedio para variable dependiente (rendimiento de grano por planta).

Coefficiente de correlación (r)

Se realizó la correlación para determinar el grado de relación que existe entre el rendimiento y los caracteres morfológicos en estudio. El parámetro que permite la cuantificación, es el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r), cuyo valor oscila entre -1 y +1. El coeficiente de correlación fue evaluada mediante la fórmula descrita por Lahura (2003). Por lo tanto, los tratamientos se realizaron mediante las relaciones de sumas de cuadrados y los desvíos estándar muestrales de cada variable de X e Y.

Coefficiente de sendero

Para este análisis, se utilizó la metodología sugerida por Wright (1921) y Gómez (2011). Se desarrollaron sistemas de ecuaciones, formadas por las correlaciones morfológicas en estudio. Para su descripción e interpretación, se realizó de las variables que presentaron diferencia estadística entre la correlación de las variables en estudio y el rendimiento de grano por planta.

Para obtener el efecto directo de las correlaciones morfológicas sobre el rendimiento, se estandarizó los resultados de coeficiente de regresión múltiple; la ecuación utilizada fue:

$$PY.X1 = BY.X1 (\delta X1 / \delta Y)$$

Donde, $PY.X1$ es el coeficiente de las variables $X1$ sobre rendimiento, $BY.X1$ es el coeficiente de regresión parcial entre la variable $X1$ y el rendimiento (Y), $\delta X1$ es la desviación estándar de la variable independiente $X1$, y δY es la desviación estándar de la variable dependiente Y .

Para obtener los efectos indirectos de las correlaciones morfológicas sobre rendimiento se multiplica el coeficiente de correlación de las variables independientes; la ecuación utilizada fue:

$$P(X1 \leftarrow A) = PY.XA \times rX1.XA$$

Donde, $P(X1 \leftarrow A)$ es el efecto de la variable $X1$ sobre el rendimiento vía la variable XA , $PY.XA$ es el efecto directo de la variable XA sobre rendimiento, y $rX1.XA$ es el coeficiente de correlación entre la variable $X1$ y la variable XA .

Luego de realizar la matriz de correlaciones morfológicas, se desarrolló diagrama de causa y efecto (Figura 1), entre todas las variables independientes.

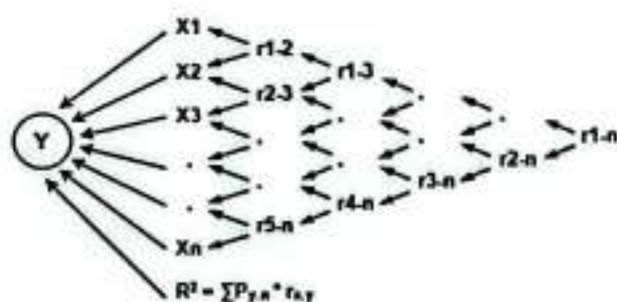


Figura 1. Diagrama de causa y efecto entre todas las variables de los componentes del rendimiento.

Donde, Y es la variable dependiente (rendimiento), r_{xy} es el coeficiente de correlación entre las variables X e Y , X_n son las variables en estudio $X_1, \dots, X_n$, y R^2 es el coeficiente de determinación del sistema planta.

3. Resultados y discusión

El análisis de los resultados, se elaboró en base a la información registrada por la evaluación de doce accesiones de cañahua y se presentan en cuatro partes: 1. Análisis descriptivo para variables estudiadas; 2. Análisis de varianza y comparación de medias para la selección de accesiones con mayor rendimiento de grano por planta; 3. Análisis del coeficiente de correlación y 4. Determinación de efectos directos e indirectos de cuatro accesiones seleccionadas con mayor rendimiento de grano por planta.

Análisis descriptivo de los componentes de rendimiento

El análisis estadístico, en función de 6 variables se presenta en la Tabla 1. Con relación al número de ramas, muestra diferencia significativa al nivel de 0.05 de probabilidad. Las accesiones CUPI y 222, logran desarrollar en promedio 9.50 ramas/pl con un coeficiente de variabilidad de 6.1% y 13.6%, respectivamente. Las accesiones 472.081 y 475, desarrollaron menor número de ramas de 8 ramas/pl, cuyo coeficiente de variabilidad fue de 17.7%, 17.7% y 10.2%, respectivamente. Valores que muestra variabilidad entre la población de las plantas.

Con relación al diámetro del tallo central de la planta es significativo al nivel de 0.01 de probabilidad estadística. La accesión CUPI, logró desarrollar mayor diámetro del tallo que las demás accesiones con 0.40 cm, cuyo coeficiente de variabilidad fue de 26.2%. La accesión 432, es el que desarrolló menor diámetro del tallo, con un promedio de 0.34 cm de diámetro, cuyo coeficiente de variabilidad fue de 2.9%. El desarrollo morfológico del tallo en su generalidad es holométrico, lo que le da una característica morfológica que es típica de estos cultivos.

Con relación a la cobertura vegetal, presenta diferencias significativas a un nivel de 0.05 de probabilidad de acuerdo al análisis de varianza. Los promedios de las accesiones en estudio estadísticamente según prueba de Duncan al nivel de 5% de probabilidad ($p > 0.05$)

son diferentes, agrupados en tres grupos. La accesión CUPI logró desarrollar mayor cobertura vegetal, que las demás accesiones con un promedio de 149 cm², y presentó gran variación de coeficiente de variabilidad de 38.1%. La accesión 472 alcanzó a desarrollar menor cobertura vegetal con un promedio de 50.50 cm², ello puede deberse al hecho de las características del cultivo, misma que está estructurada en función de cruza en base a un pool de características genéticas, por esta razón su coeficiente de variación es alta, con 43.4%. Los resultados de este carácter, muestran que existe una diferencia de la cobertura vegetal de mayor desarrollo y de menor formación de 98.50 cm², las demás accesiones se acomodan dentro los dos accesiones anteriores.

Con relación a la altura de la planta presenta significancia a una probabilidad estadística al nivel de 5%. Con mayor crecimiento presenta la accesión 616, alcanzando una altura promedio de 43.00 cm, cuyo coeficiente de variación fue de 18.1%, mientras con menor crecimiento se registró para la accesión 636, con 27.23 cm de altura, con un coeficiente de variabilidad de 12.6%. El crecimiento de este carácter varía en un rango de 15.77 cm de altura; entre tanto, las demás accesiones presentan alturas intermedias tal como se aprecia en la Tabla 1. En la misma Tabla se puede observar las accesiones en cuestión, según la prueba de medias de Duncan estadísticamente son diferentes ($p > 0.05$), presentando en cuatro grupos.

El carácter peso de 1000 granos expresa una diferencia significativa al nivel de 0.05 de probabilidad entre las accesiones en estudio. La accesión 081, presentó un peso de 1.05 g, siendo el mayor promedio, mientras que el mínimo se presentó para la accesión 425 con 0.57 g. Entre tanto, las demás accesiones presentan promedios intermedios, como se aprecia en la Tabla 1. En la misma Tabla, los valores de variabilidad enseñan que existe mínima variación en el peso de 1000 granos. A pesar de poca variabilidad de este carácter, según la comparación de medias de Duncan, si presenta una diferencia al nivel de 5% de probabilidad, presentado en 5 grupos.

El rendimiento de doce accesiones de cañahua, según el análisis de varianza muestra una diferencia al nivel de 0.05 de probabilidad de significancia entre las accesiones en estudio, se puede atribuir que es consecuencia de la diversidad expresiva de los caracteres morfológicos que han influido en la formación arquitectónica de las plantas, que son notablemente variables entre accesiones. La accesión 455, presentó un rendimiento de 12.28 g*pl⁻¹ en promedio, con un coeficiente de variación de 16.6%, este cultivo es de tipo de crecimiento Saihua, ha logrado mayor rendimiento que las demás accesiones. Con relación a bajo rendimiento fue la accesión 432, con un promedio de 4.51 g*pl⁻¹, cuyo coeficiente de variabilidad fue de 9.4%, valor que demuestra la variación existente dentro de la población de plantas, mientras las demás accesiones presentan rendimientos intermedios de la diferenciación entre las dos accesiones anteriores con un rendimiento de 7.77 g*pl⁻¹.

Selección de las accesiones con mejor rendimiento de grano por planta

Con el objetivo de seleccionar las mejores accesiones por su rendimiento, se realizó el análisis de varianza y comparaciones de medias para doce accesiones de cañahua.

Análisis de varianza

Mediante el análisis de varianza se calculó la variabilidad entre e intra población de plantas de doce accesiones de cañahua (Tabla 2), donde se aprecia que existe diferencia estadística entre bloques y tratamientos, al nivel de 5% de probabilidad. Probablemente, se debe de la consecuencia de la expresión de los caracteres que durante el crecimiento y desarrollo de las plantas han tenido diferente influencia debido al factor genético. El coeficiente de variación es de 23.1%, lo que implica la existencia de variabilidad en el rendimiento de grano por planta entre accesiones en cuestión.

Tabla 1. Componentes de rendimiento de grano de doce accesiones de cañahua.

Accesiones	Caracteres morfológicos															
	NRP*		DTC**		CV*		HPL*		PMG*		RDT*					
	x	CV%	x	CV%	x	CV%	x	CV%	x	CV%	x	CV%				
BNGA-455	9.25	10.4	0.36	8.8	119.25	ab	17.0	38.45	Abc	8.2	0.72	c	1.4	12.28	A	16.6
BNGA-222	9.50	13.6	0.35	9.0	116.50	ab	22.4	39.20	Ab	8.9	0.65	de	4.9	10.58	Ab	18.0
ILLPA-INIA	9.25	13.6	0.38	18.6	127.00	ab	15.0	37.63	Abc	18.5	0.74	c	1.4	10.29	Ab	33.3
CUPI	9.50	6.1	0.40	26.2	149.00	a	38.1	38.15	Abc	9.0	0.64	de	1.6	10.16	Ab	21.6
BNGA-616	9.25	10.4	0.38	16.6	111.75	ab	25.4	43.00	A	18.1	0.67	d	1.5	7.85	Bc	29.5
BNGA-472	8.00	17.7	0.38	11.8	50.50	c	43.4	30.63	Cd	24.1	0.73	c	1.4	7.14	Cd	17.7
BNGA-425	8.25	11.6	0.36	8.8	91.00	bc	28.5	32.65	Bcd	14.9	0.57	f	1.8	7.14	Cd	22.7
BNGA-636	8.25	11.6	0.36	8.8	105.00	ab	27.5	27.23	D	12.6	0.82	b	1.2	6.34	Cd	14.0
BNGA-081	8.00	17.7	0.35	—	79.25	bc	11.3	32.20	Bcd	13.6	1.05	a	1.0	6.12	Cd	9.6
BNGA-475	8.00	10.2	0.36	24.8	109.75	ab	28.3	36.63	Abc	14.8	0.84	b	3.8	4.97	D	18.4
BNGA-365	8.25	11.6	0.37	14.8	89.75	bc	29.0	33.60	Bcd	17.9	0.83	b	1.2	4.62	D	15.2
BNGA-432	8.50	15.2	0.34	2.9	103.00	ab	23.6	32.45	Bcd	10.7	0.64	e	1.6	4.51	D	9.4

x = Promedio. CV = Coeficiente de Variabilidad (%).

** Altamente significativo al nivel de 0.01 de probabilidad.

* Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad.

NRP: número de ramas primarias; DTC: diámetro del tallo central (cm); CV: cobertura vegetal (cm²); HPL: altura de la planta (cm); PMG: peso de 1000 granos (g); RDT: rendimiento de grano por planta (g/pl)

Tabla 2. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de doce accesiones de cañahua.

FV	SC	GL	CM	Fc	Ft
BLOQUE	6,362	3	2,121	0,677	0,527*
TRAT.	296,608	11	26,964	8,609	0,000*
ERROR EXP.	103,355	33	3,132		
TOTAL	406,324	47			
CV = 23,1%		R ² = 0,64			

Ref: * Significativa a una probabilidad estadística al $\alpha=0.05$.

CV: Coeficiente de Variación; R²: R cuadrado.

Comparación de medias

Según la Tabla 3, se observa que la comparación de las medias el rendimiento de grano por planta presenta en 4 grupos según la prueba de Duncan al nivel de 5% de probabilidad ($p>0.05$). Las accesiones 455, 222, ILLPA-INIA y CUPI, estadísticamente son iguales ($p<0.05$), las tres últimas accesiones son iguales ($p<0.05$) con la accesión 616, y esta última accesión estadísticamente, ($p<0.05$) es igual con las accesiones 472, 425, 636 y 081 y las tres

últimas accesiones son iguales ($p<0.05$) con las accesiones 475 y 365. Resultados que demuestran la existencia de deferencia significativa entre las accesiones.

Tabla 3. Rendimiento de grano por planta y comparación de medias de doce accesiones de cañahua.

Accesiones	Rendimiento (g/pl)	Prueba de Duncan	
BNGA-455	12.28	a	
BNGA-222	10.58	a	b
ILLPA-INIA	10.29	a	b
CUPI	10.16	a	b
BNGA-616	7.85	b	c
BNGA-472	7.14		c d
BNGA-425	7.14		c d
BNGA-636	6.34		c d
BNGA-081	6.12		c d
BNGA-475	4.97		d
BNGA-365	4.62		d
BNGA-432	4.51		d

Ref: Según la prueba de Duncan, los promedios con letras iguales no son diferentes al nivel de 0.05 probabilidad.

Según la Tabla 3, los mayores rendimientos por planta corresponden a las accesiones 455, 222, ILLPA-INIA y CUPI, con rendimientos de 12.28, 10.58, 10.29 y 10.16 g*pl⁻¹, respectivamente, mientras el rendimiento menor corresponde a la accesión 432 con 4.51 g*pl⁻¹, con respecto a las variedades 616, 472, 425, 636, 081, 475 y 365 presentan rendimientos intermedios que varían entre 7.14 g*pl⁻¹ a 4.62 g*pl⁻¹.

La selección de las accesiones superiores se realizó en base a aquellas que produjeron mayores rendimientos de grano por planta. Por tanto, el análisis de correlación y análisis de coeficiente de sendero (causa-efecto) se presentó para la accesión 455, 222, ILLPA-INIA y CUPI.

Análisis de coeficientes de correlación y coeficientes de sendero en cuatro accesiones de cañahua

Análisis de efectos directos e indirectos de la accesión 455

La accesión 455, es una planta de tipo de crecimiento Saihua, presenta ramificaciones estrechas al tallo principal. El rendimiento de grano de cañahua está afectado por los caracteres morfológicos de manera directa e indirecta.

En la Tabla 4 se aprecia la correlación de los caracteres morfológicos. Esto implica, que existe una verdadera relación entre los componentes y el rendimiento. La influencia directa de número de ramas $P=0.327$, cobertura vegetal $P=0.168$ y altura de la planta $P=0.196$. Estas características determinan el desarrollo de la planta para su selección.

El diámetro del tallo central tiene influencia directa sobre el rendimiento de grano en un nivel bajo, pero positivo de $P=0.049$. Variable peso de 1000 granos tiene un efecto directo negativo en un promedio de $P=-0.177$, sobre rendimiento total, este carácter no es un componente de selección directa. Respecto Vera (2004), indica los efectos negativos representan

un decremento en el rendimiento total y no son componentes de selección.

En la Figura 2, el valor influyente directamente sobre el rendimiento de la planta, convertido en términos porcentuales es 36.5% de las variables en estudio, lo que explica los caracteres morfológicos en cuestión, tienen una notable dependencia entre las variables.

Tabla 4. Correlación morfológica y coeficiente de sendero, accesión BNGA-455.

Caracteres	Promedio	Correlación(r)	Efecto
			Directo (P)
NRP	9,25	0,505	0,327
DTC	0,35	0,087	0,049
CV	119,25	0,446	0,168
HPL	38,45	0,417	0,196
PMG	0,72	-0,221	-0,177

Ref.: NRP: número de ramas primarias; DTC: diámetro del tallo central (cm); cobertura vegetal (cm²); altura de la planta (cm); PMG: peso de 1000 gramos (g).

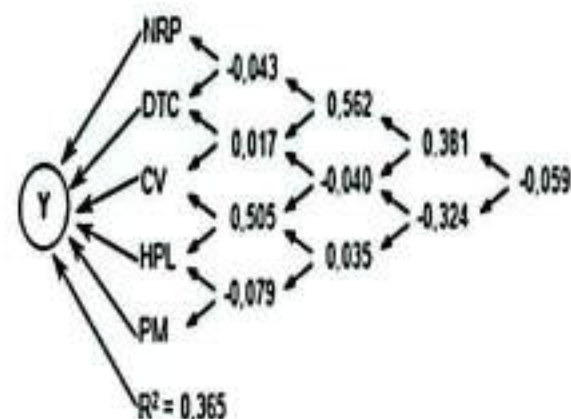


Figura 2. Diagrama del coeficiente de sendero de la accesión BNGA-455.

La influencia indirecta de orden de importancia que expresaron con mejor coeficiente son: para número de ramas vía: cobertura vegetal ($P_{xr}=0.094$) y altura de la planta ($P_{xr}=0.075$); para diámetro del tallo central vía: peso de mil grano ($P_{xr}=0.057$); para cobertura vegetal vía: número de ramas ($P_{xr}=0.184$) y altura de la planta ($P_{xr}=0.099$); para altura de la planta vía: número de ramas ($P_{xr}=0.125$) y cobertura vegetal ($P_{xr}=0.085$).

Estos caracteres morfológicos son de referencia de componente de rendimiento, el cual se puede tomar en cuenta dentro los procesos de selección ya que contribuyeron positivamente en el rendimiento de grano. Para Vera (2004), los caracteres que influyen positivamente en el rendimiento, son caracteres de selección tendientes a mejorar el rendimiento, mientras los caracteres negativos no son de selección ya que acrecientan el valor del efecto directo.

Análisis de efectos directos e indirectos de la accesión 222

La accesión 222, es de tipo de crecimiento Lasta, presenta una arquitectura con características morfológicas con criterio de selección, la variable dependiente está asociada con número de ramas primarias ($r=0.462$), cobertura vegetal ($r=0.425$) y altura de la planta ($r=0.383$). Estos caracteres, permitieron desarrollar en promedio 9.50 de número de ramas, 116.50 cm² de cobertura vegetal y 39.20 cm de altura de la planta, estos componentes de rendimiento han alcanzado producir 10.58 g*pl⁻¹, como se observa en la Tabla 1.

En la Tabla 5, se aprecia mediante el coeficiente de sendero, la influencia en el rendimiento de grano, cuyo efecto directo para número de ramas, cobertura vegetal y altura de planta, son positivos que expresan la complementariedad del sistema planta en el rendimiento de grano, que coincide con la descripción de Mamani (2003), la relación de los caracteres; altura de la planta y cobertura vegetal, en la cañahua Lasta rosada.

Los componentes de rendimiento implicados en el rendimiento de grano de cañahua presentan el coeficiente de determinación del sistema planta un 40.5%, de manera que este valor muestra una dependencia entre las variables en el crecimiento y desarrollo de las plantas, el resto (59.5%) se constituye a factores desconocidos.

Tabla 5. Correlación morfológica y coeficiente de sendero, accesión BNGA-222.

Caracteres	Promedio	Correlación (r)	Efecto Directo (P)
NRP	9.50	0.462	0.261
DTC	0.35	-0.486	-0.259
CV	116.50	0.514	0.271
HPL	39.20	0.383	0.047
PMG	0.65	-0.080	-0.012

Ref.: NRP: número de ramas primarias; DTC: diámetro del tallo central (cm); CV: cobertura vegetal (cm²); HPL: altura de la planta (cm); PMG: peso de 1000 gramos (g).

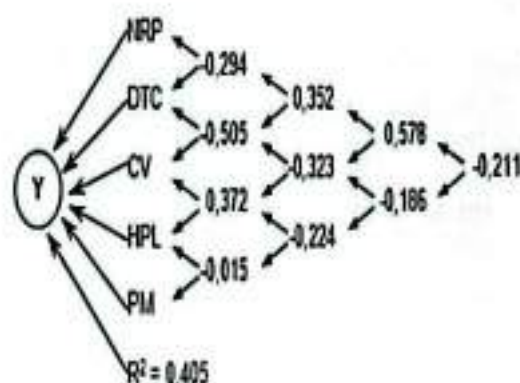


Figura 3. Diagrama del coeficiente de sendero de la accesión BNGA-222.

Los efectos indirectos en el rendimiento de grano de cañahua son: número de ramas primarias vía diámetro del tallo central ($Pxr=0.076$) y cobertura vegetal ($Pxr=0.095$); cobertura vegetal vía número de ramas ($Pxr=0.092$) y diámetro del tallo central ($Pxr=0.131$); altura de la planta vía número de ramas ($Pxr=0.151$), diámetro del tallo central ($Pxr=0.084$) y cobertura vegetal ($Pxr=0.101$), las otras variables involucradas no son significativas con el rendimiento de grano de cañahua.

Análisis de efectos directos e indirectos de la accesión ILLPA-INIA

La accesión ILLPA-INIA es de tipo de crecimiento Lasta, presenta ramificaciones en el primer tercio de la planta, alcanzado 9.25 ramas por planta en promedio, y dando apariencia frondosa la cobertura vegetal alcanzando en un promedio de 127 cm². Esta accesión ha obtenido un desarrollo y crecimiento medianamente alcanzando en un promedio de 37.63 cm de altura. Estas características morfológicas influyeron en el rendimiento de grano de cañahua en un promedio de 10.29 g*pl⁻¹ (Tabla 1).

En la Tabla 6, se observa mediante el coeficiente de sendero, la influencia en el rendimiento, cuyos efectos directos para número de ramas, diámetro del tallo y cobertura vegetal, presentan valores positivos. Además, sus coeficientes de correlación son superiores a los efectos directos, esto implica, que existe una relación entre los caracteres morfológicos con el rendimiento. Los caracteres morfológicos que influyeron en el rendimiento de grano por planta, en la accesión ILLPA-INIA fueron de 44.7% del total. Lo que demuestra, que el conjunto del sistema planta, mantiene una dependencia entre las variables que constituyen los componentes de rendimiento. De esta forma, muestra el crecimiento y el desarrollo de las plantas.

Tabla 6. Correlación morfológica y coeficiente de sendero, accesión ILLPA-INIA.

Caracteres	Promedio	Correlación	Efecto
		(r)	Directo (P)
NRP	9.25	0.519	0.318
DTC	0.38	0.479	0.524
CV	127.00	0.126	0.189
HPL	37.63	0.012	-0.298
PMG	0.74	-0.127	-0.081

Ref.: NRP: número de ramas primarias; DTC: diámetro del tallo central (cm); cobertura vegetal (cm²); altura de la planta (cm); PMG: peso de 1000 gramos.

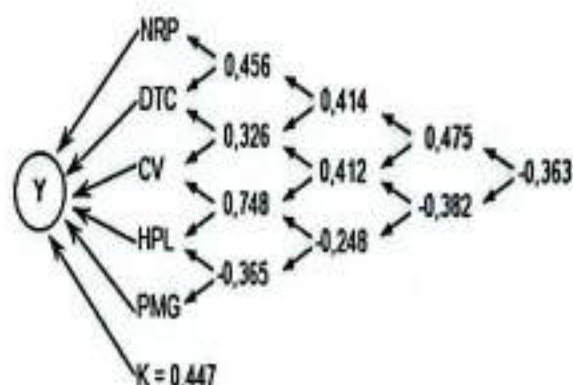


Figura 4. Diagrama del coeficiente de sendero de la accesión ILLPA-INIA.

El coeficiente de sendero para efectos indirectos en el rendimiento de grano son: número de ramas vía diámetro del tallo central ($P_{xr}=0.182$); diámetro del tallo central vía número de ramas ($P_{xr}=0.110$); cobertura vegetal vía número de ramas ($P_{xr}=0.102$); altura de la planta vía diámetro del tallo central ($P_{xr}=0.224$), las otras variables involucradas no son significativas en el rendimiento grano.

Análisis de efectos directos e indirectos de la accesión CUPÍ

La accesión CUPÍ es una planta de arquetipo de crecimiento Lasta, sus ramificaciones son numerosas que han alcanzado desarrollar en promedio 9.50 ramas por planta, y frondosa; por ello, la cobertura vegetal fue de 149 cm² y las plantas han alcanzado desarrollar una altura de 38.14 cm. Estas variables morfológicas son las que han determinado como mejores plantas de rendimiento, por ello el rendimiento de grano de este cultivo a logrado producir 10.16 g*pl⁻¹ (Tabla 1).

Según la información de la Tabla 7, los coeficientes de correlación de las variables en estudio son superiores a los efectos directos, este expresa una relación entre los caracteres morfológicos en cuestión, con el rendimiento de grano por planta. Y con relación, al grado de asociación entre el rendimiento de grano con número de ramas primarias, cobertura vegetal y altura de la planta son de $r=0.395$,

$r=0.573$ y $r=0.310$, respectivamente. Estos tres caracteres morfológicos tienen una influencia positiva y directa de $P=0.124$, $P=0.462$ y $P=0.084$, respectivamente sobre el rendimiento de grano de cañahua, similar resultado ha obtenido Mamani (2003), en la accesión CUPI, en una proporción de efecto directo sobre la cobertura vegetal ($P=0.528$) y número de ramas laterales ($P=0.204$).

El componente factor desconocido es el que establece el rendimiento total del cultivo. El valor de determinación del sistema planta desconocido es 63.6%, y el valor de determinación que influyeron directamente en el rendimiento de grano en la accesión CUPI está expresada en un 36.4% (Figura 5). Mamani (2003), manifiestan que si bien se desarrolla y crece las plantas con buenas características, puede tener baja relación entre variables involucrados, debido a factores desconocidos. Para estos casos, se debe tomar todas las variables posibles que involucren en el desarrollo de las plantas, para tener exactamente cuál de las variables influye en el rendimiento final. Y relacionados con factores medio ambientales, el mismo autor recomienda realizar un estudio de análisis fenotipo-ambiente.

Tabla 7. Correlación morfológica y coeficiente de sendero del rendimiento de grano por planta, accesión CUPI.

Caracteres	Promedio	Correlación	Efecto
		(r)	Directo (P)
NRP	9.50	0.395	0.124
DTC	0.40	0.134	-0.023
CV	149.00	0.573	0.462
HPL	38.15	0.310	0.084
PMG	0.64	-0.227	-0.119

Ref.: NRP: número de ramas primarias; DTC: diámetro del tallo central (cm); cobertura vegetal (cm²); altura de la planta (cm); PMG: peso de 1000 gramos.

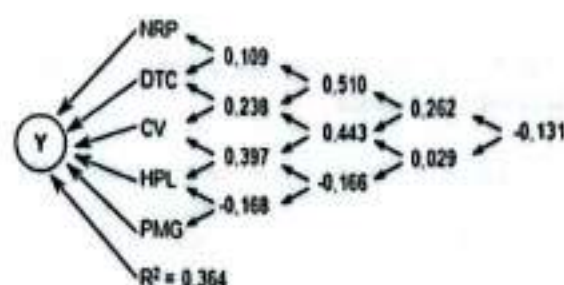


Figura 5. Diagrama del coeficiente de sendero de la accesión CUPI.

Los efectos indirectos en orden de importancia en el rendimiento de grano de cañahua con mayores coeficientes son: número de ramas primarias vía: cobertura vegetal ($P_{xr}=0.236$); diámetro del tallo central vía: cobertura vegetal ($P_{xr}=0.110$); cobertura vegetal vía: número de ramas primarias ($P_{xr}=0.063$); altura de la planta vía: cobertura vegetal ($P_{xr}=0.183$). Estos caracteres son de referencia para su selección indirecta ya que contribuyeron significativamente en el rendimiento de grano de cañahua, las otras variables implicadas no fueron significativas.

4. Conclusiones

El análisis de varianza y prueba de Duncan, muestran que existe diferencias estadísticas en el rendimiento de grano de cañahua por planta en las doce accesiones estudiadas. Las accesiones con mayor rendimiento por planta que produjeron son: 455, 222, ILLPA-INIA y CUPI, con un rendimiento de 12.28, 10.58, 10.29 y 10.16 g/pl, respectivamente.

El análisis de correlación entre el rendimiento y los caracteres morfológicos en estudio de las cuatro accesiones seleccionadas fueron los siguientes: accesión 455, a través de número de ramas primarias ($r=0.505$); cobertura vegetal ($r=0.446$) y altura de la planta ($r=0.417$). Accesión 222, por medio de número de ramas primarias ($r=0.462$); cobertura vegetal ($r=0.514$) y altura de la planta ($r=0.383$). Accesión ILLPA-INIA, a través de número de ramas primarias ($r=0.519$).

y diámetro del tallo central ($r=0.479$). Accesoión CUI, por medio de número de ramas primarias ($r=0.395$) y cobertura vegetal ($r=0.573$).

En la accesoión 455, se constituyen como componentes de rendimiento, el número de ramas primarias, cobertura vegetal y altura de la planta, que fueron los mejores caracteres morfológicos que han logrado influir de manera directa en el rendimiento, contribuyendo con 36.5%, en el rendimiento de grano, estos caracteres muestran como caracteres selectivos.

En la accesoión 222, se establecen como componentes de rendimiento, número de ramas primarias, cobertura vegetal y altura de la planta, que fueron los mejores caracteres morfológicos que han logrado influir de manera directa en el rendimiento, favoreciendo con 40.5%, sobre el rendimiento final, estos valores muestran como caracteres de selección tendientes a mejorar el rendimiento.

En la accesoión ILLPA-INIA se constituyen como componentes de rendimiento, el número de ramas primarias y diámetro del tallo central. Fueron excelentes caracteres que han logrado influir de manera directa en el rendimiento final, beneficiando sobre un total de 44.7%, en el rendimiento de grano por planta.

En la accesoión CUI se establecen como componentes de rendimiento, el número de ramas primarias y cobertura vegetal. Fueron los mejores caracteres que han logrado influir de manera directa en el rendimiento, con el 36.4%, en el rendimiento de grano por planta; estos caracteres expresan como caracteres selectivos.

5. Referencias bibliográficas

- Abbott, L., S. Pistorale, A. y A. Abbott. 2009. Evaluación de los componentes del rendimiento en semilla mediante coeficientes de sendero en poblaciones de agropiro alargado. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina. INTA-EEA Pergamino. Rev. Agriscientia Vol. 26, N° 2: p. 55-62.
- Astegiano, E., M. Hermann, G. Leurino, y J. Menegon. 2003. Comportamiento de componentes de productividad y rendimiento de cultivares. Rev. FAVE - Ciencias Agrícola 2.
- Cruz, C. D. y A. J. Regazzi. 1997. Modelos biométricos aplicados de mejoramiento genético. 2ª ed. Ediciones Universidad Federal de Vicosa. Vicosa, MG, Brasil. 390 p.
- Gómez, C. M. E. 2011. Estimación de los modelos de ecuaciones estructurales, del índice mexicano de la satisfacción del usuario de programas sociales mexicanos, con la metodología de mínimos cuadrados parciales. Tesis de Maestría. Universidad Iberoamericana. México. 166 p.
- Hurtado, J. 2008. La cañahua. Importancia de los cultivos andinos. Informe de gestión de PNI - INIA.
- IPGRI, PROINPA e IFAD. 2005. Descriptores para cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola. Roma, Italia. 45 p.
- Kuruvadi, S., R. Aguilera R. y A. López B. 1993. Coeficiente de sendero para aceite y sus componentes de asociación en cártamo bajo ambientes de riego y temporal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Agraria. Rev. UAAAN. Vol. 9, N° 2. México. pp. 116-125.
- Lahura, E. 2003. El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas. Documento de trabajo 218.
- Mac Cormick, T. y H. Paccapelo. 2003. Caracteres de selección indirecta para el rendimiento de grano por planta en líneas experimentales de tricipiros y triticales. J. Basic and Applied Genetics 15. Santa Rosa, Argentina.

Mamani, R. F. 2003. Componentes de rendimiento en la producción de grano de seis cultivares de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Altiplano. Puno, Perú. 68 p.

Mujica, A., S. Jacobsen, R. Ortiz, A. Cañahua, V. Apaza, P. C. Aguilar y R. Dupeyrat. 2002. La Cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la nutrición humana del Perú. 1ª ed. UNA. Puno, Perú. 68 p.

Soto, M. J. L. y E. Carrasco G. 2008. Estudio del valor real y potencial de la biodiversidad de los granos andinos (quinua, cañahua y amaranto en Bolivia). Proyecto "Fortalecimiento de las oportunidades de ingreso y la seguridad nutricional de los pobres rurales, a través del uso y mercadeo de especies olvidadas y subutilizadas" (NUS-IFAD II). 53 p.

Vencovsky, R. y P. Barriga. 1992. Genética biométrica no fitomelhoramento. Sociedad Brasileira de Genética. Ribeirao Preto, Brasil. 496 p.

Vera, R. G. 2004. Análisis de causa y efecto entre rendimiento y sus componentes en once variedades de quinua (*Chenopodium quinua* Willd). Tesis de Grado. UMSA. La Paz, Bolivia. 116 p.

ESTABLECIMIENTO IN VITRO DE DOS TIPOS DE EXPLANTE DE OLLUCO (*Ullucus tuberosus* L.) ECOTIPO KELLU

In vitro establishment of two types of olluco explant (*Ullucus tuberosus* L.) ecotipo kellu

Chávez, S.¹; Butrón, R.²; Quispe, F.³; Marza, F.⁴

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

^{1,3} Investigador de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

⁴ Docente de la materia de Genética y Diseños Experimentales, carrera de Ingeniería Agronómica (Ph.D. en Genética y Fitomejoramiento Molecular)

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

In Bolivia, olluco is considered as a very important crop for farmers in traditional production systems with altitudes of 3300-3600 m.a.s.l., this because of being a source of income and food. For olluco and other tubers usually apical meristems are used for introduction to in vitro conditions. In this study, two types of explants consisting in apical and axillary buds were used and introduced in test tubes under 100% of MS concentration (Murashige and Skoog 1962). Additionally 30 g·l⁻¹ of sucrose, 6 g·l⁻¹ of agar and a pH of 5.7, were autoclaved at 121 °C and one atmosphere pressure for a period of 20 minutes. Two treatments were installed with 40 repetitions and response variables were: percentage of fungus and bacterial contamination, mortality percentage, percentage of establishment, shoot length, leaf number, number of nodes, grade and size of leaves rooting. Data were analyzed by descriptive statistics, t test and X². Disinfectants used and recommended by the International Potato Center (CIP), were well suited for introducing olluco explants. The best explant in vitro introduction of olluco was meristem from the apical part of the plant. Also detected significant qualitative relation ship between the shoot sizes with the degree of plantlets rooting.

Keywords: *In vitro*, explant, ecotipo.

Resumen

En Bolivia el olluco, es considerado muy importante para los agricultores tradicionales con altitudes de 3300 a 3600 msnm, por ser fuente de ingresos económicos y de alimentación. Para la introducción del olluco y otros tubérculos andinos generalmente usan meristemos apicales. El presente trabajo tiene como objetivo introducir y evaluar los meristemos axilares y meristemos apicales. Se introdujeron dos tipos de explantes provenientes de la región apical y axilar en tubos de ensayo y se utilizó el 100% de su concentración de MS (Murashige y Skoog 1962), se adicionó 30 g·l⁻¹ de sacarosa, 6 g·l⁻¹ de agar y el pH se ajustó a 5.7, autoclavados a 121°C y una atmósfera de presión por un lapso de 20 minutos. Se instalaron dos tratamientos con 40 repeticiones y la variables de respuesta fueron: porcentaje de contaminación por

hongo y bacteria, porcentaje de mortandad, porcentaje de establecimiento, longitud de brote, número de hojas, número de nudo, grado de enraizamiento y tamaño de hojas. Los datos obtenidos fueron analizados a través de una estadística descriptiva, prueba de t y prueba de Chi-cuadrada. Los desinfectantes utilizados y recomendados por el Centro Internacional de la Papa (CIP), fueron satisfactorios para la introducción de explantes del olluco. El mejor explante en la introducción in vitro del olluco fue el meristemo proveniente de la parte apical de la planta. También se detectaron una relación cualitativa significativa entre el tamaño de hoja de las vitroplantas y el grado de enraizamiento.

Palabras clave: In vitro, explante ecotipo.

1. Introducción

La fisiografía de Bolivia ha permitido la conformación de varios ecosistemas, en los cuales se ha originado una gran diversidad de cultivos (Tapia y Fries 2007). Este es el caso del olluco (*Ullucus tuberosus* L.) que se encuentran distribuidas a lo largo de la región andina; desde Venezuela hasta el norte Argentino (Gonzales et al. 2003). En Bolivia es considerado importante para los agricultores en los sistemas de producción tradicionales con altitudes de 3300 a 3600 msnm, por ser fuente de ingresos económicos y de alimentación (Cadima et al. 2003). El rendimiento promedio del cultivo es de 42023 kg·ha⁻¹, que fueron tomadas en diez años (Cadima et al. 2003). En el Banco Nacional de Tubérculos y Raíces Andinos (BNTRA), se mantiene una colección de 197 accesiones de olluco. Todo este material se encuentra en la estación Experimental de Toralapa (Cadima et al. 2009).

Para Lescano (1994), citado por PROINPA (2003) desde el punto de vista nutritivo, el ulluco es fuente muy importante de carbohidratos, proteínas, vitaminas, calcio y caroteno, además contiene seis de los ocho aminoácidos esenciales en la dieta humana. Una de las causas de la reducción de rendimiento se debe a la carencia de alternativas tecnológicas (falta de variedades mejoradas), poco

conocimiento de los consumidores de este producto, así como también se tiene un vacío de información con respecto a patrones agronómicos, usos, económico-comercial en las unidades productivas básicas (Tapia y Fries 2007).

En el campo de la biotecnología vegetal en Bolivia, se ha generado una escasa información sobre la micropropagación en ulluco. Frente a esta situación, el presente trabajo tiene el objetivo de evaluar el comportamiento morfológico in vitro de dos tipos de explantes.

2. Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto, geográficamente ubicado a 16°29'29" S y 68°11'36" O a 4068 msnm. La siembra de los tubérculos se realizó del ulluco ecotipo kellu, en macetas bajo condiciones de invernadero y posteriormente, se seleccionó las plantas donadoras por poseer características de vigor, sin presencia de enfermedades o algún patógeno y con buen estado de desarrollo. Este material seleccionado, se llevó al laboratorio para su extracción de meristemos. Una vez seleccionadas las plantas donadoras en el laboratorio, se procedió con el bisturí a la primera reducción, separando el área de los meristemos apicales y axilares con una

longitud de 1-1.5 cm. Los esquejes se sumergieron en un frasco con agua y jabón líquido por un lapso de 5 minutos, el cual se enjuagó con agua de grifo hasta quitar el jabón y posteriormente se desinfectó con alcohol al 70% por un minuto después con hipoclorito de sodio al 0.5% durante veinte minutos.

La preparación de medios de cultivo para la fase de establecimiento *in vitro* de los explantes provenientes de los meristemos apicales y axilares, se utilizó el 100% de su concentración de MS (Murashige y Skoog 1962). Se adicionó 30 g·l⁻¹ de sacarosa, 6 g·l⁻¹ de agar y el pH, se ajustó a 5.7. Posteriormente, se vertió los medios en tubos de ensayo (3 ml·tubo). Finalmente, se esterilizó en autoclave a 121°C y una atmósfera de presión por un lapso de 20 minutos.

Para la introducción de los meristemos desinfectados, se llevó a la cámara de flujo laminar; estos fueron enjuagados con agua destilada estéril (3 veces), con una pinza y bisturí se redujeron el tamaño de los esquejes a meristemos de 1 a 2 mm y estos explantes fueron introducidos a tubos de ensayo con medio de cultivo MS. Posteriormente, se llevó a la cámara de crecimiento con una intensidad luminosa de 1800-2000 Lux, a 18°C de temperatura y un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad y permanecieron 45 días. Se instalaron dos

tratamientos con 40 repeticiones y la variables de respuesta fueron: porcentaje de contaminación por hongo y bacteria, porcentaje de mortandad, porcentaje de establecimiento, longitud de brote, número de hojas, número de nudo, grado de enraizamiento y tamaño de hojas. Los datos obtenidos fueron analizados a través de una estadística descriptiva, prueba de t de student y prueba de Chi-cuadrada.

3. Resultados y discusión

El análisis de los resultados fue elaborado en base a la información adquirida por la evaluación de introducción en condiciones *in vitro* de olluco, del ecotipo kellu.

El porcentaje de explantes provenientes de meristemos apicales que lograron establecerse a condiciones *in vitro* fueron de un 80% y un 73% para los meristemos axilares. Así mismo, se registró un 12 a 15% de contaminación por hongos y bacterias para el tipo de explante. En cuanto a la mortandad, un 8 y 12% se perdió por necrosis (meristemos apicales y axilares). Sin embargo, no se observaron problemas de oxidación fenólica de los vitroplantas establecidas. El porcentaje de establecimiento de meristemos resultó ser alto, el cual no requiere emplear otros agentes desinfectantes u otro protocolo de introducción *in vitro*.

Tabla 1. Porcentaje de establecimiento, mortalidad y contaminación en dos tipos de explantes de olluco ecotipo kellu.

Tipos de Explante	Mortandad (%)	Contaminación por hongo y bacteria (%)	Establecimiento (%)
Meristemos Apicales	8	12	80
Meristemos Axilares	12	15	73
Total	20	27	76

Con respecto al tipo de explante (Tabla 3), el meristemo axilar para la variable longitud de brote obtuvo los siguientes resultados: media de 3.82 cm; $SD=\pm 0.17$ cm; con 6.21 de media, $SD=\pm 0.82$ para número de hojas y 6.21; $SD=\pm 0.83$ en la variable nudos por explante.

Se realizó el examen de la distribución de sesgo y curtosis, para las tres variables de respuesta, el cual es considerado bueno, debido a que cumple con los criterios mínimos establecidos.

Tabla 2. Estadística descriptiva, para variables cuantitativas a los 45 días del meristemo apical in vitro del olluco ecotipo kellu.

Estadísticos	Longitud de brote (cm)	Número de hojas (Unidad)	Número de nudo (Unidad)
Rango	1.00	3.00	3.00
Mínimo	4.00	4.00	4.00
Máximo	5.00	9.00	9.00
Media	4.29	7.13	7.14
Desviación estándar	0.19	0.98	0.98
Varianza	0.04	0.95	0.95
Sesgo	0.29	0.63	0.63
Curtosis	0.49	0.62	0.42

Con respecto al tipo de explante (Tabla, 3), el meristemo axilar para la variable longitud de brote obtuvo los siguientes resultados: media de 3.82 cm; $SD=\pm 0.17$ cm; con 6.21 de media, $SD=\pm 0.82$ para número de hojas y 6.21; $SD=\pm 0.83$ en la variable nudos por explante.

Se realizó el examen de la distribución de sesgo y curtosis, para las tres variables de respuesta, el cual es considerado bueno, debido a que cumple con los criterios mínimos establecidos.

Tabla 3. Estadística descriptiva, para variables cuantitativas a los 45 días del meristemo axilar in vitro del olluco ecotipo kellu.

Estadísticos	Longitud de brote (cm)	Número de hojas (Unidad)	Número de nudo (Unidad)
Rango	1.00	2.00	2.00
Mínimo	4.00	5.00	5.00
MáximTo	4.00	7.00	8.00
Media	3.82	6.21	6.22
Desviación estándar	0.17	0.82	0.78
Varianza	0.03	0.67	0.69
Sesgo	0.49	0.42	0.43
Curtosis	0.64	0.88	0.85

Prueba de t de student

Longitud de brote

Se realizó la prueba de t de student para la variable longitud de brote (Figura 1), el cual muestra diferencias significativas en el tipo de

explante. El meristemo apical obtuvo mayor longitud (4.29 cm) en relación a los meristemos axilares (3.82 cm). Para Pérez (1998), esta diferencia puede deberse a la diferenciación celular y actividad mitótica de la vitroplanta.

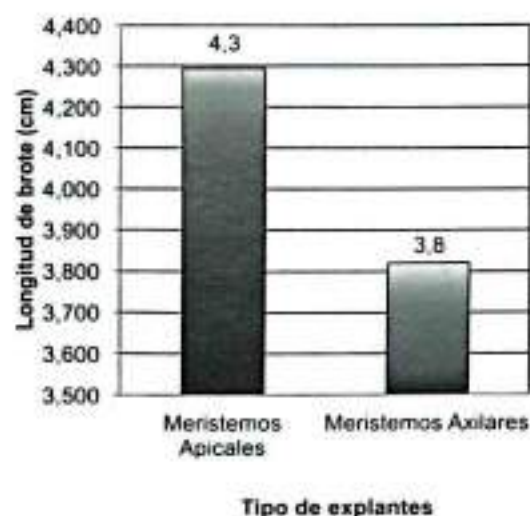


Figura 1. Prueba de t de student para número de hoja en la fase de introducción in vitro de dos tipos de explantes de olluco ecotipo kellu.

Número de hojas

Se realizó la prueba de t de student, para la variable número de hojas (Figura 2), el cual muestra diferencias significativas en tipo de explante. El meristemo apical obtuvo mayor número de hojas (7.13 unidades) en relación a los meristemos axilares (6.21 unidades). Jiménez (1999) indica que los meristemos apicales tienen un mayor crecimiento en relación a otras regiones de la planta.



Figura 2. Prueba de t de student para número de hoja en la fase de introducción in vitro de dos tipos de explantes de olluco ecotipo kellu.

Número de nudos por explante

Se realizó la prueba de t de student, para la variable número de nudos por explantes (Figura 3), el cual muestra diferencias significativas en el tipo de explante, el meristemo apical obtuvo mayor número de nudos por explantes, (7.13 unidades) en relación a los meristemos axilares (6.21 unidades). La diferencia entre los dos tipos de explantes, puede deberse a la actividad metabólica de cada región de la planta, por lo que los tejidos vegetales difieren en una misma planta (Pierik 1990).

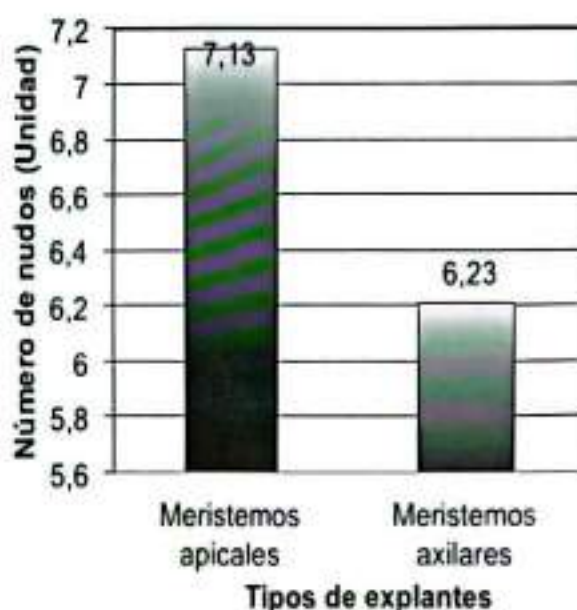


Figura 3. Prueba de t de student para número de nudos por explante en la fase de introducción in vitro de dos tipos de explantes de olluco ecotipo kellu.

Se realizó la prueba de chi-cuadrado para las variables cualitativas las cuales son: tamaño de hojas y grado de enraizamiento.

Tamaño de hojas y grado de enraizamiento

La prueba de chi cuadrado muestra una relación significativa ($X^2=82.37; P= 0.000$) entre tamaño de hojas y grado de enraizamiento (Figura 4), cuando las vitroplantas tienen hojas medianas muestran raíz primaria desarrollada en un 31%, 16% en hojas pequeñas y 1% de raíz primaria en hojas grandes. El 14% de la vitroplantas que tenían hojas medianas no presentaron raíces.

de la misma manera en un 5% no presentó raíz cuando tenían hojas pequeñas. En cuanto a la formación de raíces secundarias solo el 8% de las vitroplantas que tenían hojas medianas llegaron a formar, y el 1% cuando estas tenían hojas pequeñas. En las vitroplantas no llegaron a formar hojas grandes y la formación de raíces en esta fase no es necesaria.

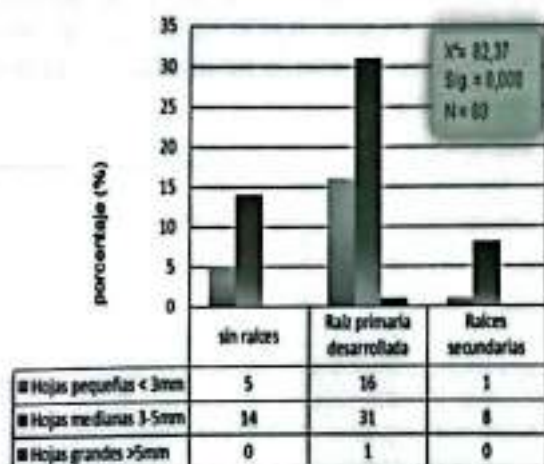


Figura 4. Prueba de chi cuadrado Relación del tamaño de hoja y grado de enraizamiento en la fase de establecimiento in vitro de dos tipos de explantes de ulluco ecotipo kellu.

4. Conclusiones

En base a la información analizada en el capítulo de resultados y discusión se llega a las siguientes conclusiones:

Los desinfectantes utilizados y recomendados por el Centro Internacional de la Papa (CIP), fueron satisfactorias para la introducción de explantes del ulluco.

El mejor explante en la introducción in vitro del ulluco fue el meristemo proveniente de la parte apical de la planta.

Existe relación cualitativa significativa entre el tamaño de hoja de las vitroplantas con el grado de enraizamiento.

5. Referencias bibliográficas

- Cadima, X.; García, W.; Ramos, J. 2003. Conservación y producción del cultivo de la papalisa (*Ullucus tuberosus*). Área Temática de Recursos Genéticos (RRGG)- Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 2003. 84 p.
- Gonzales, S.; Almanza, J.; Oros, R. y Devaux, A. 2003. Producción de oca (*Oxalis tuberosa*), papalisa (*Ullucus tuberosus*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*): Avances en la investigación del manejo agronómico Área temática RRGG (Recursos Genéticos), Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 2003. 50 p.
- Gonzales, S.; Terrazas, F.; Almanza, J.; Condori, 2003. Producción de oca (*Oxalis tuberosa*), papalisa (*Ullucus tuberosus*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*): importancia, zonas productoras, manejo y limitantes. Área Temática RRGG (Recursos Genéticos) Fundación PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 46 p.
- Jiménez, E. 1999. Aplicación de la Biotecnología en la mejora genética de plantas y en la producción de semillas. Propagación masiva de plantas in vitro. Módulo 4. Santa Clara, Cuba. Pp: 82.
- Murashige, T. and Skoog, 1962. "A revised medium for rapid growth and bio assay with tobacco tissue culture." *Physiologia Plantarum* 15: Pp: 473 - 497
- Pérez P, J. 1998. Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Editorial Santa Clara. Villa Clara, Cuba. Ediciones GEO. 390 p.
- Pierik, R.L.M. 1990. Cultivo in vitro de plantas superiores. Department of Horticulture Agricultural University Wageningen, The Netherlands. Madrid, España. 326 p.
- Tapia, M. y Fries, A. 2007 Guía de campo de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima, Perú. 222 p.

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE AVENA (*Avena sativa* L.) EN GRANO APLICANDO DIFERENTES NIVELES DE ESTIÉRCOL DE OVINO

Evaluation of oat (*Avena sativa* L.) grain yield performance applying different levels of sheep manure

Condori, D.¹; Gutiérrez, D.²

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

¹ Investigador de la Carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

² Docente de la materia de Manejo y Mejoramiento Genético de Ganado, carrera Ingeniería Agronómica, UPEA.

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

The study was developed to find out the response of grain yield of oat (*Avena sativa* L.) using different levels of sheep manure, it was undertaken in the municipality of Jesús de Machaca, Ingavi province, department of La Paz. The experiment was established under randomized blocks design with four levels of organic fertilization and five replications reaching a total of 25 experimental units. Sowing was done with a density of 50 kg*ha⁻¹. The results indicate that higher grain yields (22.83 t*ha⁻¹) were reached with sheep manure fertilization of 6.25 t*ha⁻¹. Lower performance on grain yield (15.76 t*ha⁻¹) were obtained with 0 t*ha⁻¹ of organic fertilization. The results indicate that yield performance were significantly influenced by planting method and organic (sheep manure) fertilization levels. Economic analysis of Income Benefit Cost Ratio (C/B) identified that the sheep manure added at a ratio of 6.25 t*ha⁻¹ resulted in a net income of 5.801.84 Bs and the lower C/B was obtained with 0 t*ha⁻¹ with a net income of 3825.58 Bs.

Keyword: Grain, fertilization, performance.

Resumen

Para conocer la respuesta del rendimiento de grano de avena (*Avena sativa* L.) aplicando diferentes niveles de estiércol de ovino, el trabajo se realizó en el municipio Jesús de Machaca de la provincia Ingavi del departamento de La Paz. El experimento fue evaluado bajo el Diseño Bloques al Azar, con cuatro niveles de fertilización orgánica y cinco repeticiones con un total de 25 unidades experimentales. La siembra se realizó por surco a chorro continuo con una densidad de siembra de 150 kg*ha⁻¹. Los resultados fueron obtenidos mayores rendimientos en grano de 22.83 t*ha⁻¹ con mayor fertilización de estiércol ovino de 6.25 t*ha⁻¹ y menor rendimiento de 15.76 t*ha⁻¹ con abonamiento de 0 t*ha⁻¹. En los resultados influyó en método de siembra y niveles de abonamiento de estiércol ovino. El ingreso económico en relación de Beneficio Costo (B/C) con el mayor abonamiento de estiércol de ovino de 6.25 t*ha⁻¹ de alcanzo 4.17 y ingreso neto de 5801.84 Bs, el menor B/C se registró con abonamiento de 0 t*ha⁻¹ con 3.35 y con ingreso neto de Bs. 3825.58.

Palabras claves: Grano, fertilización, rendimiento.

1. Introducción

La avena (*Avena sativa* L.), es uno de los cereales más importantes del mundo, ocupando el cuarto lugar en la producción de grano después del trigo, arroz y el maíz. A diferencia del trigo y arroz, en Bolivia, la avena en los últimos tiempos se ha difundido considerablemente, por sus cualidades forrajeras, su elevado rendimiento en grano y su facilidad de conservación como semilla. Por tanto, constituye una importante reserva alimenticia para la época de estiaje. En épocas húmedas es un excelente alimento energético para los animales de las familias campesinas, pequeños y medianos productores, siendo adaptada a una gran diversidad de medio, con buen potencial productivo.

La mayor aplicación de estiércol de ovino favorece en gran medida en la producción y desarrollo de las plantas, dando mayor rendimiento de grano, además, mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo Olivares (2006). La avena prospera desde los 2000 a 2800 msnm, en los valles y desde los 3000 a 4000 msnm, en la zona altiplánica, caracterizándose por su excelente producción de forraje y grano.

Por estas consideraciones, se planteó el presente trabajo de investigación que tuvo como objetivos: i) Evaluar el rendimiento de grano de avena (*Avena sativa* L.) aplicando diferentes niveles de estiércol de ovino; ii) Determinar el comportamiento de avena con diferentes niveles de aplicación de estiércol ovino; iii) Evaluar el rendimiento de grano a diferentes niveles de estiércol ovino y iv) Evaluar costos de producción de los tratamientos.

2. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el municipio de Jesús de Machaca de la provincia Ingavi del departamento de La Paz, ubicado a 120 km al oeste de la sede gobierno. Geográficamente se

sitúa entre los paralelos, 16° 44' 50.03" latitud sur y 68° 48' 32.59" longitud oeste. La temperatura mínima registrada durante el estudio fue de -10°C y la máxima de 20°C. El experimento comprendió tres periodos climáticos: época poco lluvioso (noviembre – diciembre), época lluviosa (enero – febrero), época seca (marzo – mayo) caracterizado por alcanzar valores bajos de precipitación. El suelo fue de textura franco arcilloso –arenosa, con pH 5.49 moderadamente ácido; 2.33% de materia orgánica; nivel medio de fósforo de 6.48 ppm, potasio disponible menor a 0.69 ppm.

Los tratamientos en estudio fueron: siembra por surcos a chorro continuo con diferentes niveles de aplicación de estiércol ovino (A1: 2.50 t*ha⁻¹, A2: 3.75 t*ha⁻¹, A3: 5.0 t*ha⁻¹, A4: 6.25 t*ha⁻¹ y A5: 0 t*ha⁻¹). Se utilizó diseño de Bloques Completo al Azar con dos factores de estudio, cinco bloques, haciendo un total de 25 unidades experimentales. Las variables de respuesta fueron: días a la emergencia, días a la floración, días a grano lechoso, número de macollos, número de hojas, altura de planta (cm), número de espiga, días al maduración de grano, rendimiento de grano y evaluación de costos de producción. La siembra se realizó el 01 de diciembre del 2010 y se utilizó 150 kg*ha⁻¹ de semilla de avena variedad texa.

En las parcelas sembradas se consideró el número de días a la floración, cuando estas mostraron el 50% de las paniculas por unidad experimental; para la evaluación de los días al estado de grano lechoso, se consideró días transcurridos desde la emergencia hasta el 50% en el estado de grano lechoso a la presión de los dedos por tratamiento. Del mismo, el número de macollos se contaron en 5 plantas al azar por parcela experimental, para determinar el promedio de análisis estadísticos. Para la evaluación del número de hojas, se tomaron 5 plantas al azar por tratamiento, contabilizando las hojas. Posteriormente se obtuvo un promedio de los datos, a partir de la superficie del suelo

hasta la parte apical de la espiga, tomando al azar 5 plantas por tratamiento durante el desarrollo de las plantas. Luego, se promedió los valores obtenidos, para lo cual se tomó número de espigas de 5 plantas al azar, contabilizando cada 15 días. Por tanto, se promedió los datos correspondientes. Paralelamente a la evaluación del rendimiento de grano se tomaron el peso de grano por tratamiento, luego transformar en kilogramos por hectárea.

3. Resultados y discusión

Días a la emergencia



Figura 1. Promedio de los días a la emergencia aplicando diferentes niveles de fertilización orgánica.

La prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$), presenta diferencias significativas en los factores de estudio (Figura 1). Con aplicación de estiércol ovino de $6.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; la emergencia se produjo a los 12.6 días; con $5.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a los 15 días; con $2.50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ y el $3.75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a los 16.6 y 16.4 días respectivamente. En el testigo a los 20.8 días se dio la emergencia. Por tanto, es necesario utilizar $6.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol de ovino, en el momento de la siembra por surco a chorro continuo, esto asegura un mayor porcentaje de emergencia de plántulas y determina mayor población de plantas establecidas. Al respecto, Cortez (2000) señala principalmente las condiciones climáticas reinantes en la zona de estudio, influyeron de manera similar a los tratamientos debido a que las semillas utilizan

las reservas que tienen en su interior tanto para germinar, como en las primeras etapas de desarrollo de la planta.

Días a floración



Figura 2. Promedio de los días a floración en los diferentes niveles de fertilización orgánica

La prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$), de los días a la floración (Figura 2), con la fertilización orgánica de estiércol de ovino, con $6.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ se presentó a los 96 días; en menor tiempo de floración. Para los tratamientos con abonamiento orgánico de $2.50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, $3.75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ y $5.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ presentó 106, 107 y 103 días respectivamente y el testigo a los 116 días con mayor tiempo en la floración.

Por tanto, la fertilización con estiércol de ovino mejora en las etapas de floración y soporta las condiciones climáticas adversas, resistente a enfermedades. La aplicación de estiércol de ovino, juega un papel muy importante para alcanzar el desarrollo óptimo de las plantas.

Días a grano lechoso



Figura 3. Promedio de los días a estado de grano lechoso para diferentes niveles de fertilización orgánica

La prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$), (Figura 3), muestra sobre el efecto de fertilización orgánica de estiércol ovino y estos presentan diferencias estadísticamente numéricas. Con niveles de fertilización de $6.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol ovino alcanzo a los 127 días el estado de leche; de 3.75 y $5.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a 145 y 143 días $2.50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a los 155 días, respectivamente. El testigo a los 163 días con mayor tiempo en la formación de grano lechoso. Por tanto, con la fertilización de estiércol ovino de $6.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ en cultivo de avena en la siembra por surco reduce las fases fenológicas de cultivo, además completa en mejores condiciones del grano lechoso.

Altura de planta (cm)



Figura 4. Promedio de altura de planta para diferentes niveles de fertilización orgánica

Mediante la prueba estadística de Duncan al ($\alpha = 0.05$) de probabilidad (Figura 4), muestra que el nivel de aplicación de $6.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol ovino presenta con mayor altura de 113.04 cm , siendo superior al resto de los niveles de fertilización, de 3.75 y $5.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol que presentan valores de 112.52 y 111.62 cm respectivamente, seguido con $2.50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, con el valor de 104.48 cm y finalmente el testigo obtuvo la menor altura de 95.20 cm .

Número de espiga



Figura 5. Promedio de número de espiga en los diferentes niveles de fertilización orgánica

La prueba de Duncan al 5% muestra las diferencias estadísticas significativas (Figura 5), entre niveles de aplicación de fertilización orgánica de estiércol de ovino con $6.25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ se registró valor más alto con 12 espigas. Con $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol de ovino registró un valor de 11.32 respectivamente; al $2.50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol alcanzo de 11.20 , seguido con $3.75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ con menor valor de 10.80 espiga. Por último, el testigo con $0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de estiércol presentó menor promedio de espigas con 9.92 .

Al respecto Córdova (2005) muestra diferencias con diferentes niveles de fertilización orgánica en el cultivo de avena. La variedad texas necesita mayor cantidad de abonos para diferentes condiciones de precipitaciones, temperaturas,

radiación solar y viento fuerte; además, a la resistencia de enfermedades. Por tanto, con un nivel alto de fertilización se obtuvo resultados de producción de granos altos.

Rendimiento de grano



Figura 6. Promedio del rendimiento de grano para diferentes niveles de fertilización orgánica

La prueba de Duncan de ($\alpha = 0.05$) presentan diferencias estadísticas numéricas de rendimiento en el peso del grano de avena (Figura 6). Los tratamientos combinados con la fertilización de abono con la aplicación 6.25 t·ha⁻¹ se tubo un rendimiento de 22.83 t·ha⁻¹ de grano; seguido con el abonamiento de 5 t·ha⁻¹ con un valor de 21.74 t·ha⁻¹ de grano, y los restantes 3.75 t·ha⁻¹ con 20.91 t·ha⁻¹ de grano, y 2.50 t·ha⁻¹ con 19.66 t·ha⁻¹ respectivamente. El testigo fue de menor rendimiento de grano con 15.76 t·ha⁻¹ de grano. Estos resultados nos demuestran con abonamiento de estiércol ovino mejora la producción de grano en comparación al testigo.

Giménez (2008) afirma además que la cantidad de aplicación de estiércol ovino, en el cultivo de avena para producción en grano es más factible para su mejor formación de espigamiento en menores tiempos posible con mayor cantidad de kilogramos de granos.

Evaluación de los costos de producción



Figura 7. Curva de ingreso neto con cinco niveles de fertilización orgánica en la variedad Texas

Con respecto a los costos de la producción de avena en grano, se obtuvo mayores ingresos netos con niveles de fertilización orgánica de 6.25 t·ha⁻¹, de 5801.84 Bs·ha⁻¹ superior de los demás tratamiento, considerando con 5.0 t·ha⁻¹, de 5510.86 Bs·ha⁻¹, además con 3.75 t·ha⁻¹ y 2.50 t·ha⁻¹ presentan 5297.04 Bs·ha⁻¹, 4953.29 Bs·ha⁻¹, el testigo con menor ingreso neto, de 3825.58 Bs·ha⁻¹, menor beneficio neto en la producción de avena de grano.



Figura 8. Curva de relación beneficio/ costo en cinco niveles de fertilización orgánica en la variedad Texas

En la Figura 8, se muestra la relación del Beneficio - Costo (B/C), con la aplicación de estiércol ovino de 6.25 t·ha⁻¹ se obtiene mayor rentabilidad de

4.17; así mismo, con abonamientos de 5 y 3.75 t·ha⁻¹ se obtuvo 4.11 y 4.10 respectivamente. Por tanto, con 2.50 t·ha⁻¹ presenta de 3.99 beneficio costo y finalmente el testigo muestra con menor beneficio costode 3.35 en la producción de grano (Perrin et al. 1982).

4. Conclusiones

El mayor rendimiento en cuanto a la producción se obtuvo con la aplicación de estiércol ovino de 6.25 t·ha⁻¹, obteniéndose 22.83 t·ha⁻¹ de grano. El testigo, tuvo menor rendimiento con 15.76 t·ha⁻¹ de grano.

La variedad texas con fertilización de estiércol de ovino de 6.25 t·ha⁻¹ presentó la mayor altura de planta con promedio de 113.04 cm y el testigo con menor altura de planta de 95.20 cm.

Con relación a los días de emergencia, con aplicación de estiércol de ovino con 6.25 t/ha se presentó a los 12 días de emergencia. Finalmente, el testigo a los 20 días.

En la maduración de grano, con el abonamiento de estiércol de 6.25 t·ha⁻¹ fue el mejor de 161 días y el testigo con mayor tiempo de 187 días, donde se muestran las diferencias en abonamiento para producción de grano.

De acuerdo al análisis económico del beneficio costo, empleando las diferentes niveles de fertilización orgánico se establece que económicamente la mejor aplicación de estiércol ovino es 6.25 t·ha⁻¹, es más recomendable en la producción de avena; porque, se tiene un beneficio alto de 4.17 y un ingreso neto de 5801.84 Bs·ha⁻¹; siendo más rentable en el cultivo de avena para la producción de grano.

Mientras con la fertilización orgánica de 0 t·ha⁻¹ presento menor beneficio costo de 3.35 y un ingreso menor de 3825.58 Bs·ha⁻¹.

5. Referencias bibliográficas

- Córdova, J. 2005. Investigación en avena. In. Informe anual gestión 1990- 1991. Estación Experimental San Benito. IBTA – MACA. Cochabamba, Bolivia. p 94 – 112.
- Cabañas, C. Galindo, G. 2002. Validación de variedades de avena y sistemas de siembra para captar y retener el agua de lluvia del temporal. Avances de resultados del proyecto. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Zacatecas. p 122 – 130.
- Hernández, M. Velasco, R. 2009. Estabilidad del rendimiento del grano en líneas y variedades de avena para uso industrial, utilizando el modelo AMMI. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Avena de Chihuahua, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 27 p.
- Olivares, A. 2006. Efecto de la temperatura en la germinación de especies anuales y características de su emergencia de semilla. 131 p.
- Prieto, G. 2006. Ensayo comparativo de forrajes anuales en tres localidades del Altiplano. Asociación boliviana de producción animal. IBTA. X Reunión Nacional de ABOPA, La Paz – Bolivia. p 133- 163.
- Perrin, et al. 1982. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. un manual Metodológico de Evaluación. CIMMYT Edición completa revisada. México D.F. 79 p.
- Senamhi, (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Bolivia). 2010. Registro climático de la Localidad de Jesús de Machaca, Provincia Ingavi. La Paz, Bolivia s.p.

CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS BIOMÉTRICOS EN LLAMAS (*Lama glama*) VARIEDAD KARA

Characterization of biometric parameters in llamas (*Lama glama*) kara variety

Gutiérrez, D.¹ Butron, J. ²;

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

¹Docente de la materia de Manejo y Mejoramiento de Ganado, carrera de Ingeniería Agronómica, UPEA.

²Investigador de la carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

This paper reports biometric variables were taking, among them: thoracic perimeter (PT), width of haunches (AA), length of the body (LC), chest width (AP), height to the cross (AC); related with the body weight. Also were undertaking productive indexes like: rate of mortality, rate of extraction, weight increase and body weight. For the present research, study subject were llamas of k'ara variety, those were chosen at random of a population of 553 animals. The selected experimental units were classified by sex and categories of age. With an average of 79 animals sampled at random for tamas, the mean corporal weight in tuis was 19.45 ± 4.10 kg in relation to female tuis of 18.60 ± 4.15 kg showing no significant difference. For the ancutas, the males and females showed differences, the males weighted 62.10 ± 9.38 kg and the females 60.55 ± 11.63 kg. For the "Janachos", they had a weight of 89.80 ± 5.76 kg superior to females (84.40 ± 6.47 kg). The increases of weight for "Janachos" was 7.75 kg in 150 days higher than the mothers (4.80 kg). The ancuta males had an increase of weight of 6.85 kg in comparison to the females who had an increase of 5.70 kg. The male tuis had an increase of 6.50 kg per 150 days. On the other hand, the female tuis had an increase of 5.15 kg. In general the coefficients of correlation turned out to be high positive and significant ($\alpha = 1\%$) between the body measurements, which indicates that an increase in the height to the cross involves an increase in the body length, thoracic perimeter, broad of haunches and chest width, therefore the weight of the animal depends on the dimensions of the body. All the biometric variables increased with age.

Keywords: Llama, productive indexes, biometric

Resumen

El trabajo reporta medidas biométricas de: perímetro torácico (PT), ancho de ancas (AA), longitud del cuerpo (LC), ancho pecho (AP), altura a la cruz (AC); relacionando con el peso corporal. También, se determinó índices productivos: tasa de mortandad, tasa de extracción, ganancia de peso y peso vivo. Se consideró llamas de la variedad k'ara, elegidas al azar de una población de 553 animales y fueron clasificadas por sexo y categorías de edad. Con un promedio de 79 animales muestreados al azar por tamas. El peso corporal en tuis es de 19.45 ± 4.10 kg en relación a las tuis hembras con 18.60 ± 4.15 kg, no teniendo diferencia significativas, en relación a las ancutas. Los machos y hembras tienen

diferencia, los machos pesan 62.10 ± 9.38 kg y las hembras 60.55 ± 11.63 kg. En cuanto a los "Janachos" tuvieron un peso de 89.80 ± 5.76 kg, superior a las hembras, que tuvo un valor de 84.40 ± 6.47 kg. Los incrementos de peso en cuanto se refiere a "Janachos" tuvieron un incremento de 7.75 kg en 150 días, mayor a las madres que tuvo un incremento de peso de 4.80 kg. Los ancutas machos tuvieron un incremento de peso de 6.85 kg y las ancutas hembras tuvieron un incremento de 5.70 kg. Los tuis machos incrementaron 6.50 kg/150 días; por otro lado, los tuis hembras tuvieron un incremento de 5.15 kg. En general, los coeficientes de correlación resultaron altos, positivos y significativos (1%) entre las medidas corporales, el cual indica que un incremento en la altura a la cruz implica un incremento en la longitud corporal, perímetro torácico ancho de ancas y ancho de pecho; por lo tanto, el peso del animal depende de las dimensiones del cuerpo. Todas las medidas biométricas aumentan con la edad, hallándose por lo general un margen estadísticamente significativo.

Palabras claves: Llama, biométrico, índices productivos

1. Introducción

Las llamas, gracias a su alta capacidad de adaptación a zonas de altura, donde poca o ninguna actividad agrícola es posible, convierten pasturas de muy pobre calidad en valiosos productos (estiércol, carne, fibra, piel y cuero) como ningún otro animal doméstico lo hace. Juegan un papel importante en la vida cultural, social y espiritual del productor andino, en muchos casos, es la única fuente de ingresos.

Según García (2006) la zoometría (Biometría) reúne una serie de medidas de aquellas partes o regiones que guardan interés en la calificación del individuo, como organismo capaz de rendir una productividad. Permite establecer patrones raciales a partir de la obtención de diferentes medidas corporales y analizar sus relaciones. Esta es una herramienta útil que contribuye a la caracterización y diferenciación racial. En Bolivia, se han realizado escasos trabajos sobre los parámetros biométricos, careciendo de información. Por estas razones, se inició el presente estudio para determinar la relación entre 5 parámetros biométricos: perímetro torácico (PT), ancho de ancas (AA), longitud del cuerpo (LC), ancho pecho (AP), altura a la cruz (AC); con el peso corporal.

A partir de un grupo de criadores de la comunidad de Botijlaca, se pretende, determinar

el tamaño de varias zonas corporales y realizar la comparación entre estas variables, con el fin de utilizar como indicadores fenotípicos para la selección de esta especie y así, valorizar el ecotipo y utilizarlos para la producción de carne.

2. Materiales y métodos

Botijlaca está ubicado en la provincia Murillo departamento de La Paz, a una altitud de 3490 msnm. Se encuentra a 60 km de la ciudad de La Paz.

El clima es frío y en ocasiones templado por ser cabecera de valle. En la región alta alcanza 4 °C bajo cero, en la parte andanada, llega a una temperatura máxima de 27 °C. En cuanto a la topografía, presenta una pendiente mayor al 45%. El río principal es el Zongo con una altitud de 1000 a 2600 msnm. (Sub Alcaldía de Zongo 2007). Cuenta con 36 familias afiliadas (INE 2001), con 173 habitantes, divididos en 89 hombres, 84 mujeres con 67 viviendas.

Es una región caracterizada por la escasa actividad de fauna en general, debido a las limitaciones climáticas y de productividad de estos ecosistemas.

Material biológico

Para el presente trabajo, se consideró llamas de la variedad k'ara, elegidas al azar de una

población de 553 animales y seleccionadas por sexo y categorías de edad.

Procedimiento experimental

El trabajo se enmarcó en la aplicación del método descriptivo (Hernández 1996). Se realizó las entrevistas personales en la comunidad y con las autoridades "Secretario General". Dando a conocer el propósito de la investigación y los alcances del mismo y se procedió a elegir al azar las familias participantes (propietarios de tamas).

Al tener dos zonas de pastoreo bien diferenciadas, el muestreo se realizó en dos zonas: Zona 1, donde pastorean las llamas hembras, este se encuentra cerca de la comunidad. La zona 2, son pastoreados las llamas machos denominados tamas de machajes, son zonas alejadas de la comunidad a una distancia de 3 a 4 horas a pie por el sendero.

Para el reconocimiento de los animales, se recurrió al uso de lanas de color arrolladas en la fibra, además del contacto visual por parte de los propietarios y corroborado por las características fenotípicas presentadas por el animal. El marcaje no es permitida por los propietarios, ya que estos no están dentro de sus costumbres y usos. De igual forma, se registro datos relacionados a las características de las tamas proporcionados por los propietarios, este fue otra información que se considero de utilidad para la elaboración de la base de datos, que posteriormente fueron analizados.

Parámetros biométricos

Para la toma de medidas como altura cruz y longitud corporal, se utilizó un bastón zoométrico de madera graduada. Para las medidas de ancho de ancas y ancho de pecho, se utilizó un bastón zoométrico de metal. Para el perímetro torácico se utilizó una cinta inextensible comercial graduada en centímetros

Parámetros de producción

Para la presente investigación se consideró dentro de los parámetros de producción el peso vivo, composición etarea y tasa de extracción de las llamas.

• Peso vivo (PV)

Se determinó el peso de los animales, con una balanza tipo Roma de colgar de 150 kg de capacidad (SIPEL), esta variable fue medida mensualmente y expresada en kilogramos.

• Ganancia media diaria

La ganancia media diaria se refiere al aumento diario de peso del animal en cada época de medida (Alcazar 2002). Para ello, se utilizó la siguiente fórmula:

$$GDPC = \text{peso final} - \text{peso inicial} / \text{Nº de días}$$

• Composición etarea

Fue determinada a través del examen de la dentadura de los animales (cronología dentaria) y corroborada por el propietario de la tama. Esta se refiere a la proporción de animales de diferentes categorías y edades en la tama.

Rossanigo et. al. (1997) clasifican a las llamas en cuatro categorías principales. Llamas adultas, animales con madures sexual reproductiva, alcanzan la edad de 2 años (hembras) y 3 años (machos). Capón, macho castrado de cualquier edad destinado al transporte de carga a causa del fenotipo no deseable para la descendencia. Llamas jóvenes, animales de ambos sexos desde el destete (tuis) hasta el inicio de reproducción (ancutas) crías, animales machos y hembras desde el nacimiento hasta el destete (tekes).

Índices productivos

Los índices determinados fueron: tasa de mortandad y tasa de extracción, para la toma de

datos se hizo un seguimiento temporal directo, mediante visitas consecutivas al productor por periodos de 2 a 3 días, cada 20 días a nivel de campo, por un periodo de 5 meses.

- **Tasa de mortandad**

La mortandad en las tams se determinó durante el seguimiento, y se tuvo el 1 % de mortandad de crías, se calculo con la siguiente relación matemática (Rodríguez 2006).

$$\text{Mortandad} = (\text{crías muertas} / \text{crías nacidas vivas}) * 100$$

- **Saca**

La saca puede incluir diferentes categorías de animales, desde ancutas, machos, machos castrados, animales viejos, estériles, esto para mejorar los ingresos económicos de las familias. Se calculó aplicando la siguiente fórmula (Rodríguez 2006).

$$\text{Extracción} = (\text{Nº extraídos} / \text{T. de animales}) * 100$$

Análisis estadístico

- **Estadística descriptiva**

Al ser una investigación de carácter cualitativo, cuantitativo descriptivo y de carácter participativo, se efectuó el cálculo de medidas de tendencia central, como ser media y dispersión (varianza) esto para la descripción estadística de peso, ancho de ancas, longitud corporal, altura cruz, ancho de pecho, perímetro torácico, tasa de natalidad, tasa de mortalidad y tasa de extracción.

Calzada (1992) señala como medida de tendencia central a la media aritmética, el cálculo de la media se cálculo de la siguiente fórmula:

$$\text{Media (X)} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n - 1}$$

Las medias de dispersión como la varianza y la desviación estándar se calcularon con la siguiente fórmula:

$$S_x^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \text{Media}(X))^2}{n - 1}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \text{Media}(X))^2}{n - 1}}$$

La relación biométrica con el peso corporal por un lado y asociación entre todas las variables biométricas por el otro, han sido determinadas mediante un análisis de correlación lineal, dicho análisis permitió ver el grado de asociación entre variables. Se determinó mediante la siguiente formula.

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}}$$

3. Resultados y discusión

Criterios de selección

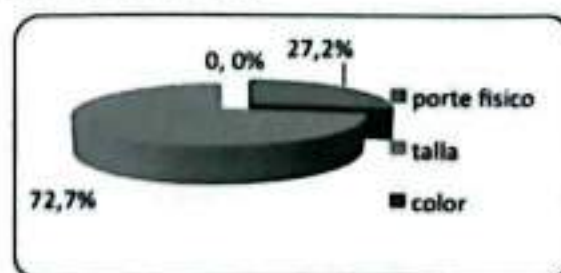


Figura 1. Criterios de selección en machos por características fenotípicas

La Figura 1, muestra que los ganaderos de la zona seleccionan a sus animales tomando los siguientes criterios: porte físico, color y talla. En cuanto a los machos, el 72.7% de

los comunarios seleccionan a sus animales por la talla que presentan; mientras el 27.2% seleccionan a sus animales por el porte físico y ninguno por el color. Concordando con Rodríguez (1996) que sostiene que los animales son seleccionados de la misma tama, en base a su peso, talla, color y calidad de fibra. Las hembras no están sujetas a ningún criterio de selección para la reproducción. Todas las crías hembras son consideradas reproductoras para la maternidad; es así, que todas se quedan en la tama hasta que sean longevas. En otro caso son retiradas por estar enfermas, machorras y estén dispuestas para la saca. Resultados similares fueron descritos por Espinoza (2010) que indica que las hembras se mantienen en la tropa para remplazo y se descartan en función a su capacidad reproductiva y aptitud materna.

Empadre

En la mayoría de las regiones, donde crían ganado camélido, el sistema de empadre es Jañacho. Esta zona no es la excepción, ya que el 100% de los propietarios criadores de ganado camélido utilizan el mismo sistema de empadre, quedando un macho para 30 a 40 hembras.

Observaciones que concuerda con Quispe (2002) indica que en las comunidades, el sistema de empadre tradicional en llamas empleado es el "Jañacho", manteniendo uno o dos machos continuamente junto a las hembras durante todo el año y donde no se realiza ningún tipo de control o seguimiento.

Edad al primer servicio

La edad de reproducción está ligada al sistema de empadre, ya que las familias realizan un empadre jañacho (un macho está constante con las hembras). Por tal razón, las hembras que están entrando a su primer celo, son servidas inmediatamente a la edad de 1 año a 1 ½. Esta afirmación, es corroborada por Chiri et al. (2001), que un 70% de llamas hembras fueron

empadradas al año de edad en la estación experimental de Condoriri, con un peso de 57 kg y aumentando a 80% a los catorce meses de edad, con un peso promedio de 64 kg.

Vida útil

Los propietarios manejan un promedio de 5 años a los machos, puesto que el ciclo concluye con la venta del ganado en pie o carne. En otras oportunidades los venden entre los 2 a 3 años dependiendo del costo y la necesidad económica. El 63% de las familias conservan a sus animales machos entre 4-5 años. Las hembras tienen un promedio de permanencia de 7 a 8 años como reproductoras, pasado este tiempo indican que las madres se vuelven longevas. El 72% de familias conservan a sus hembras entre las edad de 6-7 años.

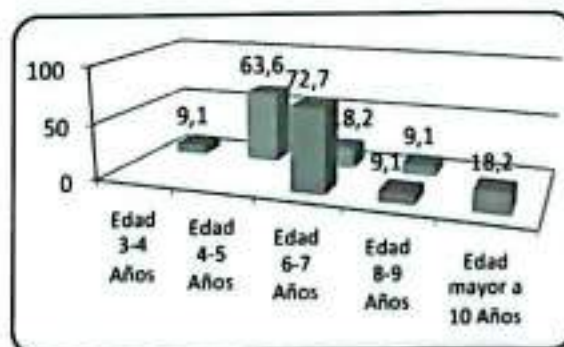


Figura 2. Promedio de longevidad de las tams de la comunidad de botijllaca

Épocas de parición

Debido al sistema de empadre Jañacho, dificulta obtener información que permita una descripción pormenorizada de los aspectos reproductivos relevantes. Por tal razón, las pariciones ocurren durante todo el año, pero la mayor concentración de partos se registraron en los meses de noviembre con 9.5%, diciembre 18.3%, enero 32.5%, febrero 27% y marzo 12.7%; con un promedio general de 20%, disminuyendo en los meses posteriores.

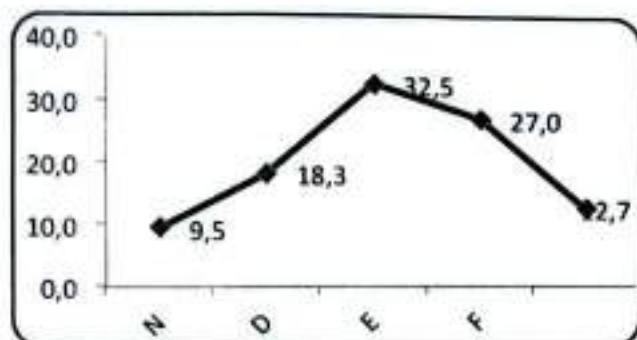


Figura 3. Épocas de parición utilizando sistemas de empadre Janacho

Destete

En la comunidad el 100% de las crías hembras realizan un destete natural, que significa que lactan hasta la edad que ellas quieran o que sus madres permitan, existiendo crías que pasados un año de edad siguen lactando, las cuales tienden a ser perjudiciales para el desarrollo normal del feto.

En el caso de las crías machos el 100% se destetan entre los 10 meses a 12 meses de edad, tiempo que ellos creen conveniente para separar a la cría de su madre. Estos resultados son corroborados por Rodríguez (1996), que señala, que el destete de los animales es natural existiendo, en algunos casos, crías de un año de edad que continúan lactando. Aspecto que incide drásticamente en la condición corporal de las hembras gestantes dadas las precarias condiciones alimenticias del sistema.

Faena

Las faenas normalmente se realizan en los meses de marzo a mayo y se relacionan con la finalización de la época de lluvias, periodo en el cual, los animales se encuentran en mejores condiciones de peso y rendimiento de carne. Pasada esta época, la disponibilidad de pastos empieza a disminuir y los animales comienzan a perder peso, consecuentemente, adelgazan siendo poco atractivos para los propietarios como para los intermediarios que buscan

obtener un mayor ingreso. En la comunidad, existen diversas épocas de sacrificio durante el año, generalmente sacrifican al ganado en periodos donde surgen requerimientos económicos, hechos que pueden coincidir con alguna fiesta patronal, inicio de labores escolares, nombramiento de alguna autoridad o simplemente algún cumpleaños o reuniones familiares extraordinarias. Generalmente los animales destinados para la saca son animales machos ya sea jóvenes, adultos, hembras que no parieron por el lapso de dos años consecutivos (machorras) o animales con algún tipo de anomalía. Similares resultados reportó Murillo (1996), que sostiene que los criadores de llamas no tienen época o mes de faena establecido más bien está determinado por la necesidad económica del productor.

Análisis de correlación y Regresión simple Relación Peso - Altura a la Cruz

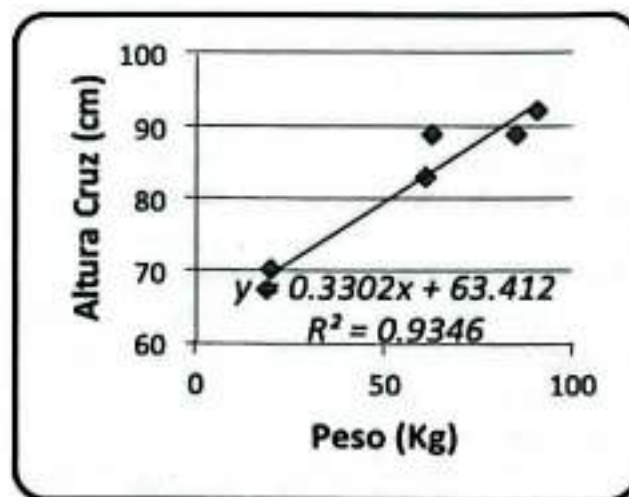


Figura 4. Peso Vs. altura a la Cruz

En la Figura 4, indica que aproximadamente el 93,46% de la variación total en altura a la Cruz, se debe al efecto del peso. El 6,54% es variación no explicada, es decir, se debe al error experimental. Además, se espera que por cada kg de peso que incrementa el animal, se tiene un aumento de 0,33 cm en la altura a la Cruz.

Cuadro 1. Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft(1%)
Regresión	1	516.82	516.82	5715	21.2
Residuos	4	36.16	9.04		
Total	5	552.99			

Como se observa en el cuadro, el valor de Factor calculado es mayor al Factor tabulado, por tanto concluimos a un nivel de significancia del 1%, que existe un efecto del peso sobre la altura a la cruz, con esto se confirma el coeficiente de correlación 0.93.

Relación Peso-Perímetro torácico

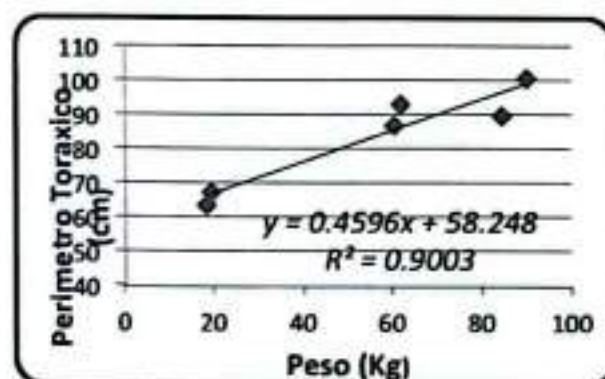


Figura 5. Perímetro torácico Vs. Peso

El coeficiente de correlación 0.90 indica una estrecha relación entre el peso y el perímetro torácico de las llamas. Se espera que a medida que el animal aumenta de peso el perímetro torácico se incrementará. Por otro lado, el 90% de la variación total en la variable dependiente (perímetro torácico medio) se debe a la variación en la variable independiente (peso promedio).

Cuadro 2. Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft(1%)
Regresión	1	1001.53	1001.53	36.11	21.2
Residuos	4	110.91	27.72		
Total	5	1112.45			

Como se observa en el cuadro 2, el valor de Factor calculado es mayor al Factor tabulado. Por tanto, se concluye que a un nivel de significancia del 1%, existe razón para afirmar

que el peso influye en el perímetro torácico y a la vez, confirmamos los datos de correlación.

Relación Peso – Ancho de Ancas

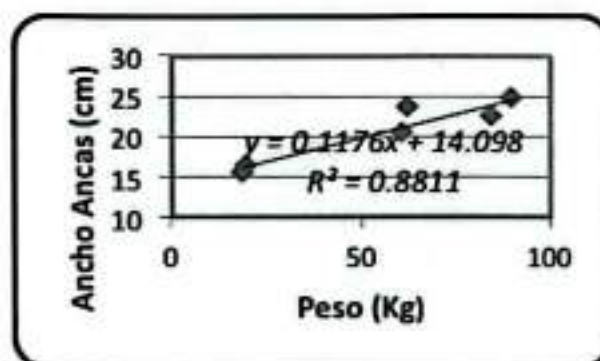


Figura 6. Ancho de Ancas Vs. Peso

La Figura 6 detalla, que el 88.11% de la variación de Ancho de Ancas se debe a la variación del peso de las llamas. Sin embargo, existe un 11.89% de variación no explicada. De igual forma indicamos que por cada kg de peso que la llama aumente, se espera que el Ancho de Ancas incrementará 0.12 cm.

Cuadro 3. Análisis de varianza

	GL	SC	CM	Fc	Ft(1%)
Regresión	1	65.58	65.58	29.64	21.2
Residuos	4	8.85	2.21		
Total	5	74.43			

En este sentido, se demuestra que el peso del cuerpo influye en el Ancho de Ancas de la llama, debido a que el valor de Factor calculado es mayor al Factor tabulado a un nivel de significancia del 1%.

Relación peso – longitud corporal

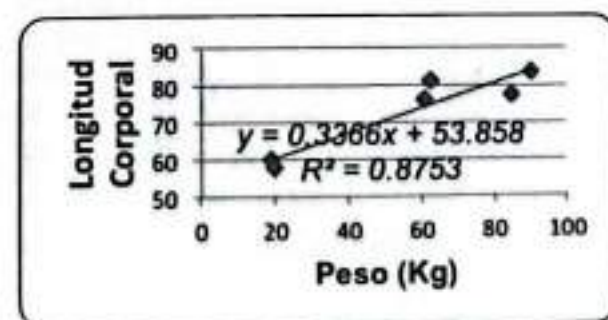


Figura 7. Longitud corporal Vs. Peso

El coeficiente de correlación 0.87, indica que existe una estrecha relación entre el peso y la longitud corporal de la llama. Además, el 87.53% de la variación total que se presenta en la variable dependiente (Longitud Corporal) se debe al efecto, (peso). Por otro lado, el 12.47% se debe al error experimental

Cuadro 4. Análisis de varianza

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft (1%)
Regresión	1	537.07	537.07	28.08	21.2
Residuos	4	76.49	19.12		
Total	5	613.56			

El cuadro indica, que a un nivel de significancia del 1% el peso influye en la longitud corporal de la llama. Esta conclusión, se debe a que el Factor calculado es mayor al Factor tabulado.

Relación Peso – Ancho de Pecho

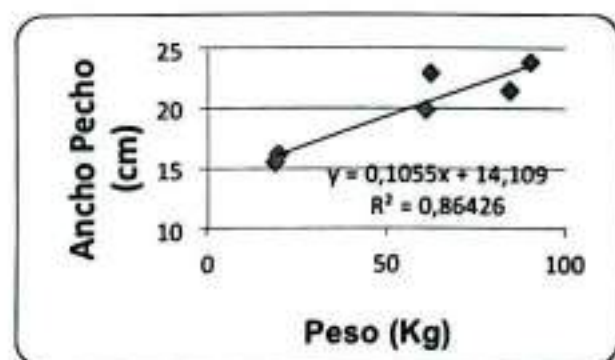


Figura 8. Ancho de pecho Vs. peso

La ecuación indica, que por cada kg de peso que la llama incremente, el Ancho de pecho se incrementará en 0.105 cm. Por otro lado, indicamos que existe relación entre el peso de la llama en el ancho de pecho, además que el 86.43% de la variación en la variable dependiente (Ancho de pecho) correlacionada con el (peso), de 13.57 que demuestra una variación del error experimental.

Cuadro N° 5. Análisis de varianza

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft (1%)
Regresión	1	52.75	52.75	25.46	21.2
Residuos	4	8.28	2.07		
Total	5	61.04			

El análisis de varianza demuestra a un nivel de significancia del 1%, que el peso influye en el ancho de pecho de la llama. Esto se debe, a que el Factor calculado es mayor al Factor tabulado

Características productivas

Variación de peso corporal



Figura 9. Peso corporal de llamas por edad y sexo

En relación a los tuis machos tuvieron un peso superior (19.45 ± 4.10) a las tuis hembras (18.60 ± 4.15) no teniendo diferencia significativas. Puesto que las crías se mantienen en la tropa de las hembras y consumen a la vez leche materna y forraje. Southey et al. (2006) reporta que los pesos vivos obtenidos en el Centro Experimental de Patacamaya para crías de un mes de edad fue de 19.04 kg, resultados que se asemejan al presente estudio.

En relación a llamas ancutas, los machos y hembras tienen diferencia, ya que los machos pesan 62.10 ± 9.38 kg y las hembras 60.55 ± 11.63 kg. Condori (2000) señala que animales jóvenes (18 a 21 meses de edad), tienen pesos vivos entre 64.5 a 72 kg. Datos que se asemejan al presente trabajo.

En cuanto a los "Janachos" tuvieron un peso de 89.80 ± 5.76 kg superior a las hembras, que obtuvo un valor de 84.40 ± 6.47 kg, atribuyendo estas diferencias al dimorfismo sexual. Rodríguez (1981), reportó un peso corporal para animales adultos de 84.10 ± 0.89 kg.

Incremento de peso

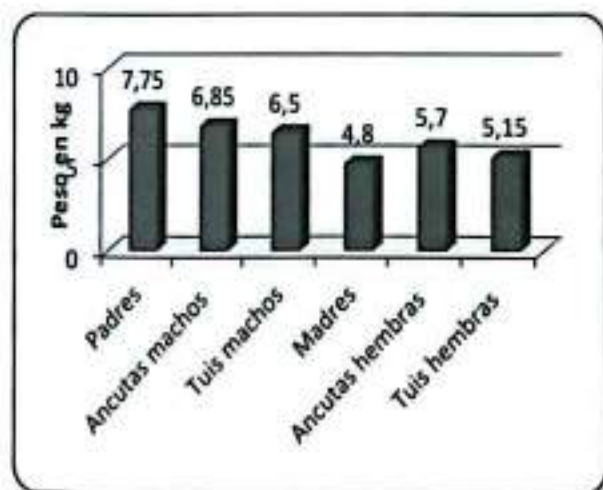


Figura 10. Incremento de peso de diferentes edades

En la Figura 10 se detalla los incrementos de peso en cuanto se refiere a "Janachos". Estos tuvieron un incremento de 7.75 kg, en 150 días, mayor a las madres que tuvo un incremento de peso de 4.80 kg. Gutiérrez (1991) señala un incremento de peso de 16.8 kg, el cual es mayor al promedio encontrado en el presente estudio. Rodríguez (1991) señala un incremento de peso de 10.8 kg en comunidades del altiplano central, asemejándose al presente estudio, los resultados obtenidos muestran alguna similitud con los resultados de autores señalados anteriormente.

Los ancutas machos tuvieron un incremento de peso de 6.85 kg, en comparación a las ancutas hembras que tuvieron un incremento de 5.70 kg. Los tuis machos incrementaron 6.50 kg/150 días. por otro lado, los tuis hembras tuvieron un incremento de 5.15 kg.

Ganancia de peso

Cuadro 6. Ganancia media diaria de peso

CATEGORIA	Peso Inicial(Kg) Media	Peso Final (Kg) Media	GMD(gr)
Janachos	89.80	97.55	52.36
Ancutas M.	62.10	68.95	46.28
Tuis machos	19.45	25.95	43.91
Madres	84.40	89.20	32.43
Ancutas H.	60.55	66.25	38.51
Tuis hembras	18.60	23.75	34.79

Los tuis machos tuvieron una ganancia media diaria de $43.91 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$, semejante a los promedios de tuis hembras que tuvieron una ganancia de peso día de 34.79 g. La semejanza es atribuible a las mismas condiciones de pastoreo, debido a que ambos se mantienen con su madre hasta la época de destete. Los incrementos de peso son mínimas por las enfermedades como la sarna, ya que la mayoría de las crías están infectadas, lo cual disminuye la capacidad de ganancia de peso.

Sanidad animal

El 18% de los criadores de ganado camélido usan medicamentos como ser Sarnavit, Ivomec e Ivermectina ya que tienen algún conocimiento sobre el uso, el 82%, restringen a usar y realizar solo tratamientos caseros como ser el uso de aceite sucio de automóvil.

Mortandad

La mortandad en adultos alcanzó un valor de 1.1%, esto se debe generalmente por el descuido de los propietarios. Por ejemplo, cuando caen en las canales o tomas de agua construidos por COBEE también por el ataque de parásitos externos como la sarna y diarrea.

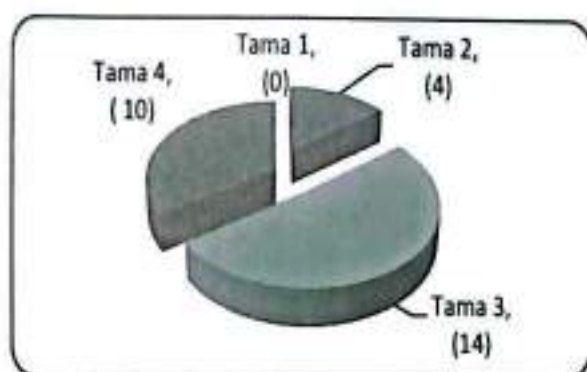


Figura 11. Relación de mortandad

En la presente figura, se muestra la mortandad de crías de 0 a 1 año de edad, teniendo un promedio de 11.6% de mortandad en general. Rodríguez (1996) reportó una mortandad de crías de 18.02% en tropas de la provincia Saucari pertenecientes al departamento de Oruro y 1% en adultos.

Saca

Los ganaderos de esta región no tienen una época específica o determinada en el año para el faeneo de sus animales. El promedio de tasa de extracción alcanzó el 16.2%. La mayor proporción de animales comercializados de la unidad productiva son destinados a la venta en pie (13.4 %). Animales machos entre las edades de 3 a 5 años con buen desarrollo corporal, solo 2.2% son faeneados ya sea para consumo y la venta en la comunidad. Comparando los datos, Mena (2005), reportó tasa de extracción anual de 7.23%.

4. Conclusiones

La mortandad en padres y madres es de 1.1% en aquellos que dejan a sus animales por periodos largos de tiempo, y por otra parte, es atribuible al terreno accidentado de la zona por los canales de COBBE. La mortandad en tuis alcanzó un 11.6 % atribuible al ataque de animales depredadores como el zorro y problemas sanitarios como la sarna y la diarrea atípica.

El peso corporal en tuis fue de 19.45 ± 4.10 kg en relación a las tuis hembras 18.60 ± 4.15 kg, no

teniendo diferencia significativas. En relación a llamas ancutas, los machos y hembras tuvieron diferencias, ya que los machos pesan 62.10 ± 9.38 kg y las hembras 60.55 ± 11.63 kg. En cuanto a los "Janachos", tuvieron un peso de 89.80 ± 5.76 kg superior a las hembras, que obtuvo un valor de 84.40 ± 6.47 kg.

Los incrementos de peso en cuanto se refiere a "Janachos" estuvo en 7.75 kg en 150 días, mayor a las madres que tuvo un incremento de peso de 4.80 kg. Los ancutas machos tuvieron un incremento de peso de 6.85 kg, en comparación a las ancutas hembras que tuvieron un incremento de 5.70 kg. Los tuis machos incrementaron 6.50 kg/150 días, por otro lado, los tuis hembras tuvieron un incremento de 5.15 kg.

En general, los coeficientes de correlación resultaron altos, positivos y significativos (1 %) entre las medidas corporales, el cual indica que un incremento en la altura a la cruz implica un incremento en la longitud corporal. Perímetro torácico ancho de ancas, ancho de pecho. Por lo tanto, el peso del animal depende de las dimensiones del cuerpo. Todas las medidas biométricas aumentan con la edad, encontrándose por lo general un margen estadísticamente significativo.

5. Referencias bibliográficas

- Condori, R. y Chiri, R. 2004. Caracterización de Parámetros Zootécnicos y Medidas Zoometrias en Llamas (*Lama Glama*) en el Ceac. Ln. Xv Reunión Nacional de Abopa. Memorias Tomo I. Producción Animal. Oruro - Bolivia. p. 29-30.
- Condori. 2000. Determinación de la Edad Óptima de Faeneo de Llamas (*Lama glama*) y Evaluación de la Calidad de Carne. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz- Bolivia. p. 78-81.
- García E. 2006. Caracterización Morfológica, Hematológica y Bioquímica Clínica

- en Cinco Razas Asnales Españolas para Programa de Conservación. Tesis Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Veterinaria. Barcelona- España. Pp48-49.
- García, V. W., San Martín H. F. Novoa M. C. y Franco L. E. 2002. Engorde de Llamas Bajo Diferentes Regímenes Alimenticios. Ln. Rev. Vet. Lima- Perú. 13 (2).
- Gutiérrez, D., 2000. Manejo de Ganado, La Paz, Bolivia. 300 p.
- Hernández Sampieri, Roberto, 1996. "Metodología de La Investigación" Ed. McGraw-Hill Colombia, 200 p.
- Herrera, M., Pena, F., Luque, M., y Díaz De La Serna, A., 2006. Caracterización de la Raza Equina Marismeña. Plan de Recuperación Conservación y Mejora. Estudios Interdisciplinarios. 1 Edición, Editorial: Sand Sa, p 15-57.
- Iñiguez, L., Rodríguez, D., Sánchez De Lozada 1997. Estudio de bases sobre la Situación de La Producción de Camélidos en Bolivia. Unepca. Fida. Oruro, Bolivia.
- Martínez, F. 2006. Manejo de la Reproducción en Camélidos Sudamericanos. Ln. Camelidos (2007). Versión revisada, corregida y aumentada de la obra original "Auquenidos" de A. Cardoso-1954. 1 Edición. Editorial: Centro de Investigaciones en Forrajes la Violeta. Cochabamba- Bolivia, p 273-294.
- Murillo F.E.B. 1996. Estudio de la Ganadería Camélida en el Sistema de Producción en La Comunidad Chacala Departamento de Potosí. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía UMSA. La Paz- Bolivia, p 50-53.
- Ochoa, R., 2009. Diseños Experimentales. La Paz, Bolivia. Ed. Ochoa, R. 299 p.
- Quispe, M. 2000. Caracterización Preliminar del Banco de Germoplasma de Papas Nativas del Altiplano Norte en la Estación Experimental de Belén. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz - Bolivia, p 6-7.
- Rodríguez T., 2006. Valoración Genética y Productiva de Ecotipos de Llamas de la Región Andina de Bolivia. Bases Conceptuales. 3 p.

ANÁLISIS DE VARIABLES CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS EN LINEAS DE TRIGO HARINERO DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, UPEA.

Analysis of quantitative and qualitative variables in wheat lines of the genebank agronomical engineering, UPEA.

Quispe, F.¹; Butrón, R.²; Chávez, S.³; Marza, F.⁴

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

^{1,2,3} Investigadores de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

⁴ Docente de la materia de Genética y Diseños Experimentales, carrera de Ingeniería Agronómica, UPEA. (Ph.D. en Genética y Fisiomejoramiento Molecular).

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

This study is about the relationship of mixed variables which express and represent the phenotypic characteristics of the wheat kernel. A statistical analysis was conducted to identify and determine the relationship between variables and identified diseases in wheat grains in a population of 160 bread wheat lines coming from BGCIA. According to the results: grain color (CG), grain type (TG), grain size (TAG), presence of black point (PN) and white belly (PB). As a result it was identified five associations, grain color versus grain type; grain type versus grain size; grain type versus white belly; type of grain versus black tip and black tip versus white belly. We also observed the presence of Black points caused by (*Bipolaris sorokiniana*, *B. trititica* and *Exserohilum monoceras*) in wheat grain in the population of 160 bread wheat lines, contrasting to the type of grain and the presence of white belly.

Keyword: lines, wheat, grain, variables.

Se estudio la relación de variables mixtas que expresan y describen las características fenotípicas del grano de trigo. Se realizó un análisis para identificar y determinar la relación de dependencia entre las variables e identificando enfermedades presentes en granos de trigo en una población de 160 líneas de trigo harinero del BGCIA, según las características de estudio fueron: color de grano (CG), tipo de grano (TG), tamaño de grano (TAG), presencia de punta negra (PN) y panza blanca (PB). Se identificó y determinó la relación existente, cinco asociaciones: color de grano versus tipo de grano, tipo de grano versus tamaño de grano, tipo de grano versus panza blanca, tipo de grano versus punta negra y panza blanca versus punta negra. Se identificó también la presencia de Punta negra causada por (*Bipolaris sorokiniana*, *B. trititica* y *Exserohilum monoceras*), en el grano de trigo en la población de 160 líneas de trigo harinero, contrastándose respecto al tipo de grano y la presencia de panza blanca.

Palabras clave: Líneas de grano, variables.

1. Introducción

La necesidad de producir mayor cantidad de alimentos en nuestro país se hace muy evidente, ya que en la campaña agrícola 2010, se tuvo una producción total, de 201508 toneladas de trigo, con un rendimiento promedio de $1180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; y la demanda de este cereal para esa gestión fue de 631825 toneladas, cubriendo así solo el 32% de lo requerido y el resto fue cubierto con la importación y el contrabando (MDRyT 2011). La aparición de nuevas patologías en hojas y espigas, la presencia en el mercado de numerosos genotipos nuevos, la concentración de la fecha de siembra, la concurrencia de condiciones climáticas adversas que afectan al cultivo de trigo, disminuyendo en forma directa la producción de granos e indirectamente provocando cambios fisiológicos que modifican las características cuantitativas y principalmente, las cualitativas, los cuales alteran la calidad de este alimento (Formento 2010).

En la actualidad, los programas de investigación en recursos fitogenéticos se limitan generalmente a una explicación positivista cuantitativa, utilizando herramientas o softwares que definen ciertas variables influyentes en el rendimiento, sin tomar en cuenta las características cualitativas.

Por otro lado, los agrónomos nos enfrentamos a menudo con una realidad donde las instituciones de formación no parece ser tan evidente en cuanto al que hacer ciencia: ya que este mundo no es estrictamente tecnológico; en él se establecen relaciones económicas, familiares, competitivas, amistosas que contienen y condicionan las prácticas productivas en el área rural. Con el propósito de generar explicaciones y describir en base a las características cualitativas y cuantitativas del grano de trigo; se realizó el presente trabajo, haciendo uso de herramientas estadísticas para ilustrar la influencia de las características cualitativas del

material genético en estudio. El objetivo general de éste estudio fue, analizar la relación de las características cuantitativas y cualitativas en una población de 160 líneas de trigo harinero del Banco de Germoplasma de la Carrera de Ingeniería Agronómica (BG CIA).

2. Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Banco de Germoplasma de la carrera de Ingeniería Agronómica de la UPEA, ubicada en la segunda sección municipal Laja de la provincia Los Andes del departamento de La Paz, entre las coordenadas $16^{\circ} 31' 28''$ latitud Sur y $68^{\circ} 18' 30''$ longitud Oeste, a una altitud de 3902 msnm. El material genético de estudio fue de 160 líneas de trigo harinero. El estudio, se centró bajo un enfoque mixto cuali-cuantitativo ajustándose a un proceso inductivo, utilizándose la técnica de la observación no estructurada. Se tomó en cuenta variables cualitativas como: color de grano (CG), tipo de grano (TG); tamaño de grano (TAG); panza blanca (PB) y punta negra (PN). En esta fase, se realizó la valoración de las variables en estudio, utilizando la escala de Likert y los descriptores propuestos por el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT).

El análisis de los datos obtenidos, se procedió respecto a los descriptores y escalas utilizados en el presente estudio, realizando los análisis de variables categóricas por medio de tablas de contingencia cada dos variables para ver las frecuencias y los contrastes, haciendo uso del paquete estadístico SPSS v. 11. Del mismo modo se utilizó la distribución de Chi cuadrado (χ^2) para establecer el grado de compatibilidad que existe entre el valor de χ^2 y la hipótesis de independencia, con un nivel de confianza del 95% y una significancia del 5%.

3. Resultados y discusión

Color de grano con tipo de grano

El color de los granos de trigo presenta tonalidades que son: blanco y rojo. Las semillas de trigo presentan tipos de grano: chupado, casi lleno y lleno.

Mediante la tabla de contingencia y prueba de Chi cuadrado, se determinó que del total de 160 líneas de trigo; 18 presentan grano chupado; 3 de color blanco; 15 de color rojo; 71 con grano casi lleno; 47 de color blanco; 24 de color rojo y 71 con grano lleno; de los cuales 44 son de color blanco; 27 de color rojo. Utilizando el valor

de 0.05 de probabilidad como el valor límite o crítico, para el valor de Chi cuadrado calculado en el color de grano y el tipo de grano, si es mayor que el valor de la probabilidad del 5% se rechaza la hipótesis.

En el caso de color de grano y tipo de grano se observa que el estadístico chi cuadrado de Pearson toma un valor de 15.083, el cual con 2 GL tiene asociada una probabilidad de 0.000. Puesto que $P \text{ valor} < 0.05$ se decidió rechazar la hipótesis de independencia, lo cual indica que color de grano y tipo de grano están relacionadas (Tabla 1).

Tabla 1. Tabla de contingencia, color de grano con tipo de grano en el análisis de variables cuantitativas y cualitativas en líneas de trigo harinero.

COLOR DE GRANO	TIPO DE GRANO			Total	χ^2	gl	Sig.
	Chupado	Casi lleno	Lleno				
Blanco	3	47	44	94	15.083	2	0.001
Rojo	15	24	27	66	-	-	-
Total	18	71	71	160	-	-	-

El tipo de grano de trigo presentó las siguientes características: chupado, casi lleno y lleno. El tamaño de grano de semillas de trigo presenta: grano mediano y grano grande. Dado que en la tabla de contingencia y prueba de Chi cuadrado se determinó que del total de 160 líneas de trigo; 41 presentan grano mediano; 9 chupado, 20 casi lleno y 12 de grano lleno y 119 grano grande de los cuales 9 son chupados; 51 casi lleno y 59 de grano lleno.

Utilizando el valor de 0.05 de probabilidad como el valor límite o crítico, para el valor de

Chi cuadrado calculado en el color de grano y el tipo de grano, si es mayor que el valor de la probabilidad del 5% se rechaza la hipótesis.

En el caso de tipo de grano y tamaño de grano se observa que el estadístico chi cuadrado de Pearson toma un valor de 8.688, el cual con 2 GL tiene asociada una probabilidad de 0.013. Puesto que $P \text{ valor} < 0.05$, por lo que se decidió rechazar la hipótesis de independencia, lo cual indica que el tipo de grano y tamaño de grano están relacionadas (Tabla 2).

Tabla 2. Tabla de contingencia, tipo de grano con tamaño de grano en el análisis de variables cuantitativas y cualitativas en líneas de trigo harinero.

TIPO DE GRANO	TAMAÑO DE GRANO		Total	χ^2	gl	Sig.
	Grano mediano	Grano grande				
Chupado	9	9	18	8.688	2	0.013
Casi lleno	20	51	71	-	-	-
Lleno	12	59	71	-	-	-
Total	41	119	160	-	-	-

Tipo de grano con panza blanca

El tipo de grano de trigo presentan características: chupado, casi lleno y lleno. Panza blanca en el grano de trigo presenta: presencia de panza blanca en el grano de trigo < al 10% y sin evidencia de panza blanca.

Mediante la tabla de contingencia y prueba de Chi cuadrado se determinó que del total de 160 líneas de trigo: 5 con panza blanca, 3 chupado y 2 de grano lleno; por otro lado de 155 muestran sin evidencia de panza blanca de los cuales 15 son chupados, 71 casi lleno y 69 de grano lleno.

Utilizando el valor de 0.05 de probabilidad como el valor límite o crítico, para el valor de Chi cuadrado calculado en el color de grano y el tipo de grano, si es mayor que el valor de la probabilidad del 5 % se rechaza la hipótesis.

En el caso de tipo de grano y panza blanca se observa que el estadístico chi cuadrado de Pearson toma un valor de 13.216; el cual con 2 GL tiene asociada una probabilidad de 0.001. Puesto que P valor < 0.05, por lo que se decidió rechazar la hipótesis de independencia, lo cual indica que el tipo de grano y tamaño de grano están relacionadas (Tabla 3).

Tabla 3. Tabla de contingencia, tipo de grano con panza blanca en el análisis de variables cuantitativas y cualitativas en líneas de trigo harinero.

TIPO DE GRANO	PANZA BLANCA		Total	χ^2	gl	Sig.
	PB < 10 %	Sin Evidencia de PB				
Chupado	3	15	18	13.216	2	0.001
Casi lleno	0	71	71	-	-	-
Lleno	2	69	71	-	-	-
Total	5	155	160	-	-	-

Tipo de grano con punta negra

El tipo de grano de trigo presentan características: chupado, casi lleno y lleno. La presencia de punta negra en el grano de trigo se muestra: resistente y muy resistente.

Mediante la tabla de contingencia y prueba de Chi cuadrado se determinó que del total de 160 líneas de trigo; 17 son resistentes a punta

negra, 9 chupado, 4 casi lleno y 4 de grano lleno. Asimismo, 143 son muy resistentes a punta negra de los cuales 9 son chupados, 67 casi lleno y 67 de grano lleno. Utilizando el valor de 0.05 de probabilidad como el valor límite o crítico, para el valor de Chi cuadrado calculado en el color de grano y el tipo de grano, si es mayor que el valor de la probabilidad del 5% se rechaza la hipótesis.

En el caso de tipo de grano y panza blanca se observa que el estadístico *chi cuadrado* de Pearson toma un valor de 33.113; el cual con 2 GL tiene asociada una probabilidad de 0,000.

Puesto que $P \text{ valor} < 0.05$, por lo que se decidió rechazar la hipótesis de independencia, lo cual indica que el tipo de grano y punta negra están relacionadas (Tabla 4).

Tabla 4. Tabla de contingencia, tipo de grano con punta negra en el análisis de variables cuantitativas y cualitativas en líneas de trigo harinero.

TIPO DE GRANO	PUNTA NEGRA		Total	χ^2	gl	Sig.
	Resistente	Muy resistente				
Chupado	9	9	18	33.113	2	0.000
Casi lleno	4	67	71	-	-	-
Lleno	4	67	71	-	-	-
Total	17	143	160	-	-	-

Panza blanca y punta negra

La presencia de panza blanca en el grano de trigo muestra características: de panza blanca en el grano de trigo $< \text{al } 10\%$ y sin evidencia de panza blanca.

Mediante la tabla de contingencia y prueba de *Chi cuadrado* se determinó que del total de 160 líneas de trigo; 17 resistentes a punta negra, 3 con una incidencia $< 10\%$ y 14 que no muestran evidencias de panza blanca. Por otro lado, de 143 se muestran muy resistentes a punta negra, de los cuales 2 con una incidencia $< 10\%$ y 141 que no muestran evidencias de panza blanca.

Utilizando el valor de 0.05 de probabilidad como el valor límite o crítico, para el valor de *Chi cuadrado* calculado en el color de grano y el tipo de grano, si es mayor que el valor de la probabilidad del 5% se rechaza la hipótesis.

En el caso de tipo de grano y panza blanca se observa que el estadístico *chi cuadrado* de Pearson toma un valor de 13.250; el cual con 1 GL tiene asociada una probabilidad de 0.000. Este resultado muestra que $P \text{ valor} < 0.05$, por lo que se decidió rechazar la hipótesis de independencia, lo cual indica que el tipo de grano y tamaño de grano están relacionadas (Tabla 5).

Tabla 5. Tabla de contingencia, panza blanca y punta negra en el análisis de variables cuantitativas y cualitativas en líneas de trigo harinero del Banco de Germoplasma de la Carrera de Ingeniería Agronómica, UPEA.

PANZA BLANCA	PUNTA NEGRA		Total	χ^2	gl	Sig.
	Resistente	Muy resistente				
PB $< 10\%$	3	2	5	13.250	1	0.000
Sin evidencia PB	14	141	155	-	-	-
Total	17	143	160	-	-	-

4. Conclusiones

De acuerdo a los resultados, se puede concluir que:

La agrupación categórica de las cinco variables en estudio, en 160 líneas de trigo harinero, permitió identificar a las variables que mantienen una relación de dependencia, respecto a la otra, con un margen de confiabilidad del 95%.

Se determinó la relación existente por prueba de independencia a cinco asociaciones: Color de grano (CG) versus tipo de grano (TG), Tipo de grano (TG) versus tamaño de grano (TAG), Tipo de grano (TG) versus panza blanca (PB), Tipo de grano (TG) versus punta negra (PN) y Panza blanca (PB) versus punta negra (PN).

Se identificó la presencia de Punta negra causada por (*Bipolaris sorokiniana*, *B. tritricicola* y *Exserohilum monoceras*), en el grano de trigo en la población de 160 líneas de trigo harinero, contrastándose respecto al tipo de grano y la presencia de panza blanca.

Asimismo, estas contrastaciones entre variables bivariadas ayudaron a responder el grado de correspondencia que tiene cada una de las variables frente a la otra, ya que estas son cualidades referentes a la hora de realizar trabajos de selección fitogenética en programas de mejoramiento sobre la calidad del grano de trigo harinero.

5. Agradecimientos

Los investigadores del presente trabajo expresan sus agradecimientos al Banco de Germoplasma de la Carrera de Ingeniería Agronómica, a la Estación Experimental Kallutaka de la UPEA, al Dr. Félix Marza Mamani, Ing. Laoreano Coronel Quispe y a los compañeros que hicieron posible este trabajo de investigación.

6. Referencias bibliográficas

- Abanto, V., W.I., 2012. Guía metodología en investigación científica. Facultad de Educación e Idiomas. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú, 34 p.
- Casanoves, F., Pla, L. y Di Rienzo, J. A., (eds.). 2011. Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica, p. 65-69.
- De Dios, L. J.; Castillo, F. R.; Femia, M. P.; Martín, A. A. y Miranda, L. M. T. 2005. Introducción al manejo del programa SPSS 12.0., 65 p.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; González, L. A.; Tablada, E. M.; Díaz, Del Pilar, M.; Robledo, C. W. y Balzarini, M. G., 2008. Estadísticas Para las Ciencias Agropecuarias. Séptima edición. Córdoba. Argentina, p. 289-373
- Duveiller, E., Dubin H.J., Reeves J. y McNab A. (Eds.). 1998. Helminthosporium Blights of Wheat: Spot Blotch and Tan Spot. México, D.F: CIMMYT, p. 55, 114 -118.
- Estrada, J. R., Medina H. T. y Roldán CH. A. 2006. Manual para caracterización *In situ* de cultivos nativos 23 p.
- Formento, N. A. 2010. Enfermedades emergentes y reemergentes en el cultivo de trigo. Instituto nacional de tecnología agropecuaria INTA – EEA. El quintal. Paraná, 6 p.
- Solís, M. E., Espinosa, T. E., Ramírez, R. A., Ríos, R. S.A. y Grageda, C. O. A. 2009. El Carácter Panza Blanca del Grano en Trigo Cristalino. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío, México, D.F. Primera edición, 57 p.
- Vicens, O. J. y Medina, M. E. 2005. Análisis de datos cualitativos. Construcción de una tabla de contingencia, 10 p.

ENRAIZAMIENTO IN VITRO DE MAXILLARIA VIOLÁCEOPUCTATA (Orchidaceae) CON DIFERENTES REGULADORES DE CRECIMIENTO

In vitro rooting violáceopuctata of Maxillaria (Orchidaceae) with different growth regulators

Chávez, S.¹; Mamani, B.²; Butrón, R.³

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

^{1,3} Investigador de la carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

² Docente de la materia de Biotecnología, carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract.

There is a great diversity and endemism in orchids, pteridófitos, aroids and bromeliads. The orchids are regarded as the most diverse in the world. The seeds of orchids are very small, finding millions of these in a capsule, these species have interactions with other organisms, such as pollinators that are required to be fertilized, and they need a mycorrhizal fungus for symbiotic germination. Studies showed that these seeds were able to germinate symbiotically in vitro greatly growing the chances of increasing their population. In this research the purpose was to induce in vitro rooting, the shoots were picked and seeded violáceopuctata Maxillaria in basic medium of Murashige and Skoog (1962), adding IAA, NA, and AIB in different concentrations: 0 mg·l⁻¹ (control), 0.1 mg·l⁻¹; 0.5 mg·l⁻¹; 1 mg·l⁻¹ and 1.5 mg·l⁻¹. Furthermore the culture medium sucrose was added 30 g·l⁻¹. Explants that developed good morphological characteristics was in the culture media that had the growth regulator IAA (indole acetic acid) at 1.0 mg·l⁻¹ and 1.5 mg·l⁻¹ in relation to other media staff.

keyword: Auxins, orchids and culture media

Resumen

La gran diversidad y endemismo se da en orquídeas, pteridófitos, aráceas y bromelias. De las cuales las orquídeas son consideradas como las más diversas en el mundo. Las semillas de las orquídeas son pequeñísimas, encontrándose millones de semilla en una cápsula, estas especies presentan interacciones con otros organismos, como es el caso de los polinizadores que son requeridos para que sean fecundadas, además, necesitan un hongo llamado micorriza para su germinación simbiótica. En un trabajo realizado por Knudson (1922; citado por Menacho 2004), demostró que dichas semillas eran capaces de germinar simbióticamente in vitro, incrementando enormemente las posibilidades de aumentar su población. En la presente investigación para inducir al enraizamiento in vitro, se repicaron los brotes Maxillaria violáceopuctata y se sembraron en medio básico de Murashige y Skoog (1962), adicionando AIA, NA, y AIB en diferentes concentraciones de: 0 mg·l⁻¹(control); 0.1 mg·l⁻¹; 0.5 mg·l⁻¹; 1 mg·l⁻¹y 1.5 mg·l⁻¹. Además, el medio de cultivo se adicionó sacarosa 30 g·l⁻¹. Los explantes que desarrollaron buenas características morfológicas, fue en los medios de cultivo que

tenía el regulador de crecimiento AIA (ácido indolacético) en concentración de $1.0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ en relación a otros medios empleados

Palabras claves: Auxinas, orquídeas y medios de cultivo

1. Introducción

En Bolivia, de acuerdo a Vásquez (1995) la distribución de la mayoría de las orquídeas se encuentra en la zona de los bosques montañosos húmedos de la Ceja de Monte de Neblina. Vásquez & Ibisch (2000) mencionan que la mayoría de las especies conocidas se han registrado en el departamento de La Paz, seguido por Cochabamba y Santa Cruz. Siendo las laderas Nor-orientales de los Andes las que albergan la mayoría de las especies, creciendo en los Yungas superiores e inferiores y en los bosques de neblina de la Ceja de Monte. Actualmente, se tiene un registro de 1350 especies de orquídeas en Bolivia; de las cuales, 400 son especies endémicas, siendo la mayoría epifitas. La mayoría de especies endémicas de *Lepanthes*, *Pleurathallis* y *Masdevallia* (Manacho 2004). El porcentaje más alto de especies endémicas se registra entre 2500 y 3000 msnm (Vásquez & Ibisch 2000).

La gran diversidad y endemismo se presentan en orquídeas, pteridófitos, aráceas y bromelias. Las orquídeas se las consideran como las más diversas en el mundo, tienen semillas muy pequeñas encontrándose millones de semilla en una cápsula, siendo exactamente especializados porque han evolucionado para ser fecundadas por insectos específicos, y necesitan un hongo llamado micorriza para su germinación simbiótica (Vásquez & Ibisch 2000). La investigación realizada por Knudson (1922; citado por Menacho 2004), demostró que dichas semillas eran capaces de germinar simbióticamente *in vitro*, incrementando enormemente las posibilidades de aumentar su población. El cultivo de tejidos vegetales permite la conservación de material en condiciones *in*

vitro como una alternativa útil de conservación *ex situ*. Se puede utilizar como un sustituto y/o como complemento de campo, ya que ofrece mayor seguridad, fácil acceso y movimiento de germoplasma (Van De Hurk 1999).

En este sentido, en el presente trabajo tiene como objetivo indicar al enraizamiento *in vitro* con el uso de reguladores de crecimiento en diferentes concentraciones en *Maxillaria violácea punctata* (Orchidaceae) dicho material vegetal fue proporcionado por el proyecto Epifitas

2. Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en los ambientes del Laboratorio de Biotecnología Vegetal dependiente del Instituto de Biología Molecular y Biotecnología de la Universidad Mayor de San Andrés.

Se procedieron a repicar la orquídea *Maxillaria violácea punctata* para su cultivo en medio básico de Murashige y Skoog (1962) y posteriormente paso a la fase de enraizamiento, se procedieron a sembrar los segmentos brotes de 3 a 4 cm de longitud procedentes de la fase anterior, respetando la procedencia del tipo de explante, a un medio básico de Murashige y Skoog (1962) al cual se adicionaron diferentes tipos de auxinas al mismo se identificó como el (factor A) ácido indolacético (AIA), ácido naftalacético (ANA) y ácido indolbutírico (AIB). En diferentes concentraciones de estos reguladores de crecimiento como (factor B): 1). Las mismas que variaron desde $0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$; 2) $0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$; 3) $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$; 4) $1.0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ y 5) $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. En cada uno de los medios se adicionó, sacarosa $30 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, agar $6 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ 15% leche de coco y el pH se ajustó

a 5.7. Una vez sembradas se encubo durante 90 días bajo luz blanca fluorescente a 2000 lux de intensidad, un fotoperiodo de 16 horas y 8 horas de oscuridad a una temperatura de 16 a 18°C. En la fase de enraizamiento se registró variables de respuesta cuantitativas como la altura de planta (HP), número de hojas (NH), número de raíz (NR) y longitud de raíz (LR).

El experimento estuvo conformado de 12 tratamientos, cada uno con 15 repeticiones haciendo un total de 180. Cuyo diseño corresponde a arreglo bifactorial completamente al azar, donde el factor regulador de crecimiento tuvo tres niveles y el factor concentración de reguladores de crecimiento tuvo cinco niveles. Para analizar los datos, se realizó un resumen de tabla y figuras que nos permitió identificar las tendencias. Posteriormente se realizó el análisis de varianza para detectar diferencias significativas ($p < 0.05$) y diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos. De los tratamientos que fueron significativos se realizaron la prueba de promedios de Duncan ($p < 0.05$) con la finalidad de detectar tratamientos favorables. Estas operaciones se realizó con el programa estadístico SAS 9.1.

3. Resultados y discusión

Análisis de varianza

El análisis estadístico para la Altura de planta (HP) y número de hojas (NH) muestra diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre tipos de reguladores de crecimiento, en cuanto a diámetro de brote (DB), número de raíces (NR) y longitud de la raíz (LR) muestran ser no significativas ($p < 0.05$) para el tipo de regulador de crecimiento.

Sin embargo, el análisis de varianza para los niveles de concentración de los reguladores de crecimiento las variables HP, NH, DB muestran ser altamente significativos ($p < 0.01$), y para las variables NR, LR muestran ser no significativas ($p < 0.05$). Para una mayoría de las variables el coeficiente de determinación (R^2) se encuentra por encima del 40 % lo que nos indica que atribuyen de manera favorable los tratamientos en base a la adición de los reguladores de crecimiento y sus niveles de concentración.

En cuanto a la interacción entre reguladores de crecimiento y concentración de reguladores de crecimiento (tabla 1), realizando en análisis de varianza para la variables LB, NH, indican diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) y para las variables DB, NR y LR muestra ser no significativo ($p < 0.05$).

Tabla 1. Análisis de varianza (HP: altura de planta, NH: número de hoja, NR: número de raíces y LR: longitud de raíz), de orquídea *Maxilaria violácepua* en base tres tipos (AIA, ANA y AIB) de reguladores de crecimiento en cinco diferente concentraciones de cada una.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio				
		HP	NH	DB	NR	LR
Tipo RC	2	17.59**	68.16**	0.03n.s.	39.32n.s.	0.45n.s.
Concentración RC	4	2.55**	26.50**	0.19**	46.46n.s.	1.06**
Tipo RC* []	8	2.13**	10.97**	0.02n.s.	19.17n.s.	0.39*
Error	195	0.3273	1.19	0.001	64.95	0.14
C.V.		23.06%	21.57%	26.02%	28%	14.71%

C.V. = Coeficiente de variación,

n.s. = no significativos a una probabilidad estadística ($p < 0.05$).

* Significativa a una probabilidad estadística ($p > 0.05$);

** Significativa a una probabilidad estadística ($p < 0.01$).

Comparación de medias de por factor de estudio

A. Efecto del uso de los reguladores de crecimiento en el enraizamiento.

Altura de la planta

A través de la gráfica se evidencia que al usar AIA (ácido indolacético) las vitroplantulas presentaron una mayor altura (3 cm) en relación con el uso de ANA y AIB (2.2 y 2.1 cm respectivamente), y además, estos dos últimos RC mostraron ser estadísticamente diferentes que el ANA.

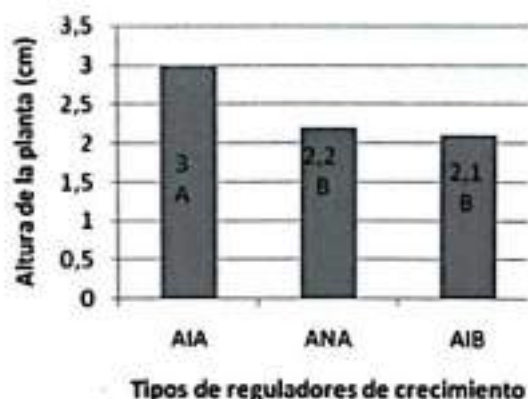


Figura 1. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento en la altura de la planta.

Número de hojas

De los tres tratamientos en los cuales fueron sometidos los brotes de *M. violaceopunctata*, se evidencia que con el uso de AIA se presentó un mayor número de hojas de 7.6/brotes. Sin embargo, los demás tratamientos presentaron un reducido número de hojas, tal como se aprecia en la siguiente figura:

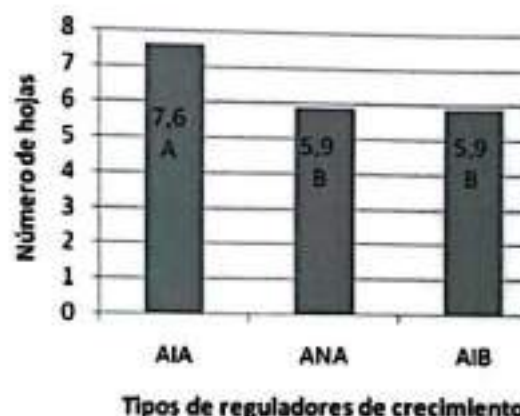


Figura 2. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento en el número de hojas/brote.

B. Efecto de las concentraciones de los reguladores de crecimiento en el enraizamiento

Altura de la planta

En la gráfica se evidencia que al usar el nivel de concentración de 0; 1 y 0.5 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ las vitroplantulas presentaron una mayor altura (2.76; 2.59 y 2.51 cm respectivamente). En relación con el uso de los niveles de 0.1 y 1.5 (2.4 y 2.1 cm respectivamente). Estos dos últimos niveles de concentración mostraron ser estadísticamente diferentes al primer grupo (A).

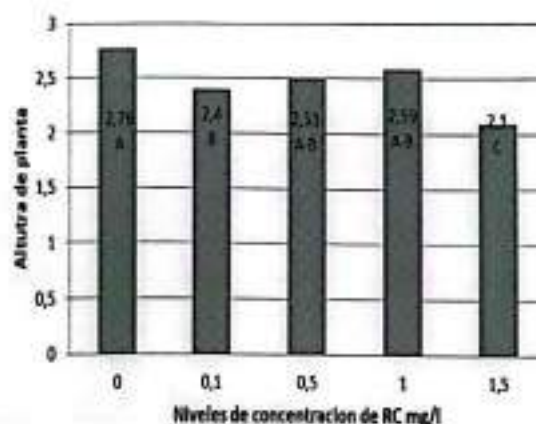


Figura 3. Efecto de las diferentes concentraciones de los reguladores de crecimiento en la altura de la planta.

Número de hojas

De los niveles de concentración que fueron sometidos los brotes de *M. violaceopunctata*, se evidencia que con el uso de $0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ presentó un mayor número de hojas de 7.4/brotes. Sin embargo, el grupo (B) que tiene a los grupos 0.5; 1 y $0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ obtuvieron resultados similares (6.7; 6.6 y 6.4 unidades respectivamente) tal como se aprecia en la siguiente figura:

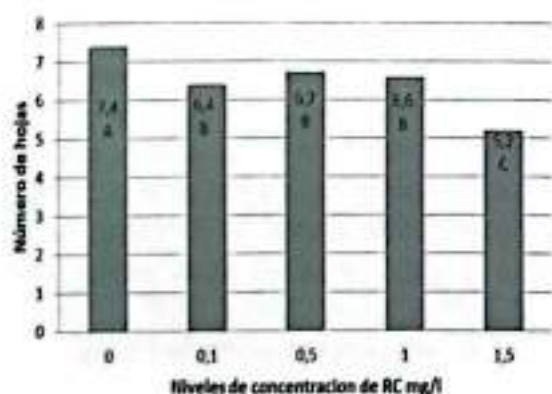


Figura 4. Efecto de las diferentes concentraciones de los reguladores de crecimiento en el número de hojas.

Diámetro de los brotes

Para la siguiente variable se evidencia que al usar el nivel de concentración de $0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, las vitroplantulas presentaron un mayor diámetro de brote (0.5 cm). Sin embargo, los demás tratamientos se presentaron un reducido número de hojas, tal como se aprecia en la siguiente figura:

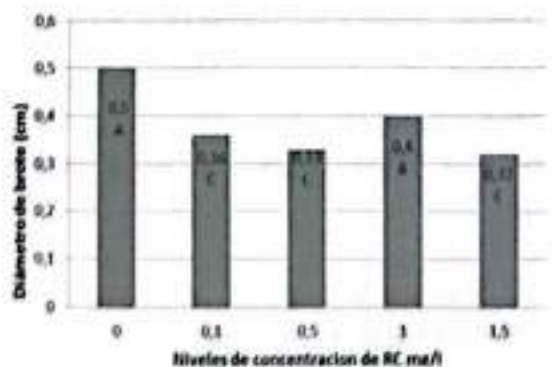


Figura 5. Efecto de las diferentes concentraciones de los reguladores de crecimiento en el diámetro de los brotes

Longitud de raíces

En la gráfica se evidencia que al usar el nivel de concentración de 1.5; 1 y $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, las vitroplantulas presentaron una mayor altura (A) (0.83; 0.78 y 0.64 cm respectivamente) en relación con el uso de los niveles de 0.1 y 0 (0.36 y 0.31 cm respectivamente). Estos dos últimos niveles de concentración mostraron ser estadísticamente diferentes al primer grupo.

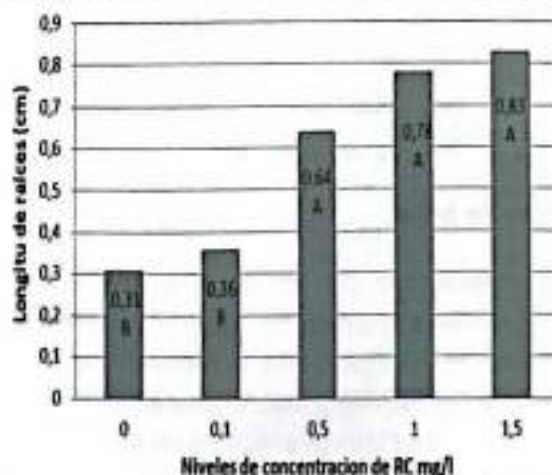


Figura 6. Efecto de las diferentes concentraciones de los reguladores de crecimiento longitud de raíces

A. Efecto de la interacción de los reguladores de crecimiento y sus diferentes concentraciones

Longitud del brote

En la interacción de los factores de estudio (RC y Concentraciones), se observó diferencias significativas en respuesta a número de hojas por efecto del RC AIA a concentraciones de 0.5 y 1. Así mismo, en estos dos niveles, no difieren ya se desarrollaron 3 centímetros de altura de planta, sin embargo al incrementar a 1.5 se denota una disminución de altura de planta a 2 centímetros; de manera similar responden los otros dos RC de ANA y AIB para este mismo nivel. No obstante, estos últimos reguladores mencionados presentaron un reducido número de hojas en casi todos los niveles tal como se aprecia en la siguiente figura:

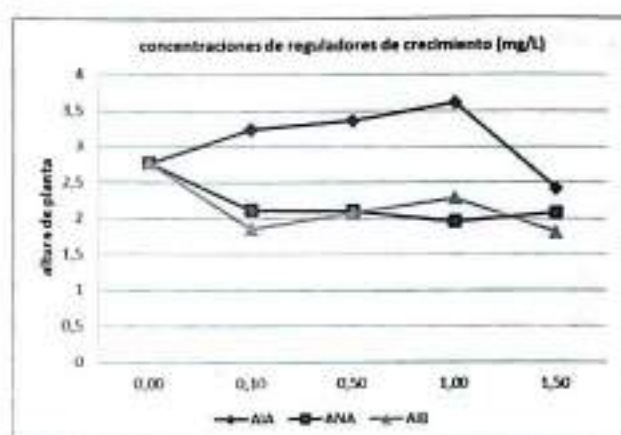


Figura 6. Efecto de los diferentes reguladores de crecimiento y sus concentraciones en la longitud del brote.

Número de hojas

En la interacción de los factores de estudio (RC y Concentraciones) se observó diferencias significativas en respuesta a número de hojas por efecto del RC AIA a concentraciones de 0.5 y 1. Así mismo, en estos dos niveles no difieren y se desarrollaron 8 hojas por brotes. Sin embargo, al incrementar a 1.5 se denota una disminución del número de hojas. De manera similar responden los otros dos RC de ANA y AIB para este mismo nivel.

No obstante, estos últimos reguladores mencionados presentaron un reducido número de hojas en casi todos los niveles tal como se aprecia en la siguiente figura:

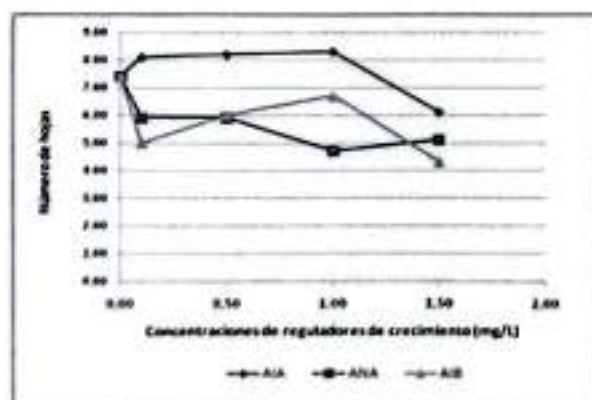


Figura 7. Efecto de los diferentes reguladores de crecimiento y sus concentraciones en el número de hojas.

4. Conclusiones

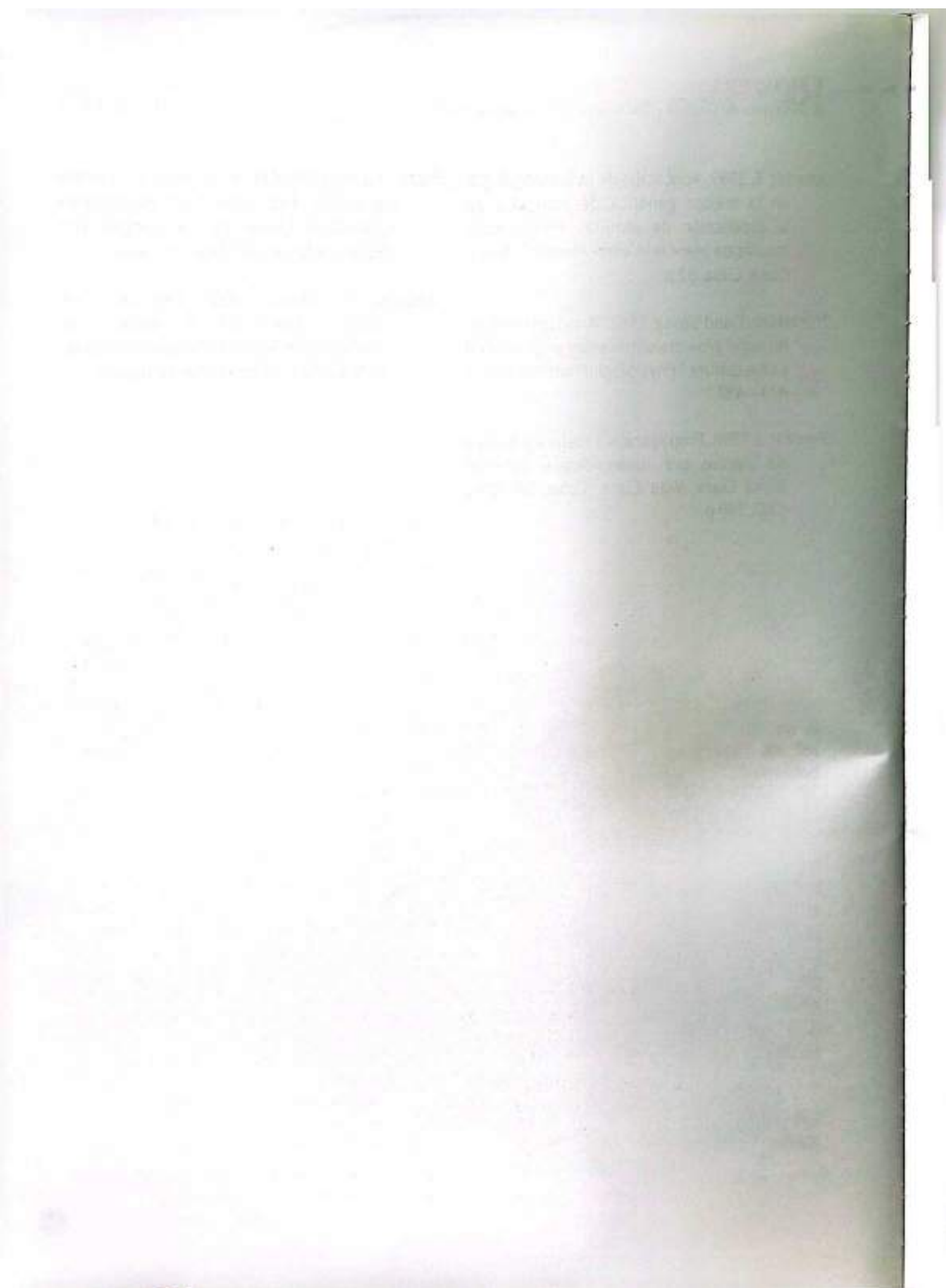
En base a las características morfológicas de las vitroplantas: altura de planta, número de hojas y formación de raíces, es necesario la adición del regulador de crecimiento AIA (ácido indolacético). Como se pudo observar en las figuras 3 y 6, las concentraciones adecuadas de 1.0 mg·l⁻¹, 1.5 mg·l⁻¹ los cuales permiten desarrollar buenas en relación a otras concentraciones utilizados.

Para la variable número de raíz, indica que no es necesaria la adición de ningún regulador de crecimiento en ninguna de sus concentraciones ya que esta especie llega a inducirse la cantidad de raíces en forma natural. Sin embargo, para la variable longitud de raíces es necesaria el uso de regulador de crecimiento AAIB (ácidoindol butírico), en una concentración de 1.5 mg·l⁻¹.

5. Referencias bibliográficas

- Aguirre, G., Pierre, J. Leigue L. (eds.) 2010. Aplicación del cultivo de tejidos en la multiplicación y conservación de los recursos fitogenéticos. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias. Cochabamba, 200 p.
- Menacho, J. 2004. Evaluación de medios de cultivo para la propagación "in vitro" de dos especies endémicas de orquídeas *Momodesmorenoi* (Vásquez y Dodson) y *Oncidiumstacyi* (Garay) de Bolivia. Tesis de Grado de la Universidad "Gabriel Rene Moreno". Facultad de Ciencias Agrícolas. carrera de Biología. Santa Cruz, Bolivia. 63 p.
- INE. 2008. Datos estadísticos de la producción agropecuaria en Bolivia. La Paz, Bolivia. 2011. p 24-25.

- Jiménez, E. 1999. Aplicación de la Biotecnología en la mejora genética de plantas y en la producción de semillas. Propagación masiva de plantas in vitro. Módulo 4. Santa Clara, Cuba. 82 p.
- Murashige, T. and Skoog, 1962. "A revised medium for rapid growth and bio assay with tobacco tissue culture." *Physiologia Plantarum* 15: p: 473 – 497
- Pérez P, J. 1998. Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Editorial Santa Clara. Villa Clara, Cuba. Ediciones GEO. 390 p.
- Pierik, R.L.M. 1990. Cultivo in vitro de plantas superiores. Department of Horticulture Agricultural University Wageningen, The Netherlands. Madrid, España. 326 p.
- Vásquez, R. & Ibisch 2000. Orquídeas de Bolivia. Diversidad y estado de conservación, Subtribu Pleurothallidinae. FAN. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia



ESTABLECIMIENTO Y MULTIPLICACIÓN IN VITRO DE KEÑUA (*Polylepis pepeï*)

Establishment and In Vitro Multiplication of keñua (*Polylepis pepeï*)

Mamani, B.¹; Rocabado, P.²; Rey-Ortiz, P.²; Quezada, P.²; Torrez, M.²

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

The *Polylepis* genus represents a high diversity in South America, of which nine species are found in Bolivia, *polylepis* stands against genetic erosion, providing a refuge and food source for many species, also is a source of carbon and it can be found in restricted areas of natural reproduction and endangered. Because of it, is urgent to take actions to contribute in its conservation by means of in vitro culture. The plant material that results in better results are the buds along with a disinfection of 1.7% of NaClO for 20 minutes, reaching a lower fungal contamination (8.9%) and achieving 73.6% of survival. In phase of multiplication, 0.5 mg·l⁻¹ of IBA + 1 mg·l⁻¹ of AG₃ + 1 mg·l⁻¹ of BAP resulted in 3.1 outbreaks, achieving the greatest height 12.9 mm and generated 7.8 leaves. In this stage it was also detected an endogenous gram-negative bacterial that expresses at 32 +/- 2°C which is lethal and difficult to control.

Keywords: *Polylepis*, micropropagation and conservation.

Resumen

El género *Polylepis* representa una alta diversidad en Sudamérica, de los cuales 9 especies se encuentran en Bolivia, aportando en la reducción de la erosión, sirviendo de refugio y fuente de alimentación de muchas especies, fuente de carbono, presente en áreas restringidas, de reproducción natural complicada y en peligro de extinción. Por tal razón es importante realizar acciones para contribuir a su conservación, a través del cultivo in vitro. El material vegetal (yemas) introducido a condiciones in vitro, que generó una mejor supervivencia de 73.6% y un 8.9% de contaminación fúngica fue el T2 (1.7% NaClO*20 min.). En la fase de multiplicación, el T3 (Chu et al., 1975 + 0.5 mg·l⁻¹ de AIB + 1 mg·l⁻¹ de AG₃ + 1 mg·l⁻¹ de BAP) incentivó la formación de 3.1 brotes que generó la mayor altura, logrando 12.9 mm y formó 7.8 hojas por brote subcultivado. Además, en esta fase se detectó la presencia de una bacteria endógena Gram negativa que se expresa a 32 +/- 2 °C de difícil control y letal.

Palabras claves: *Polylepis*, micropropagación y conservación

1. Introducción

Los bosques de *Polylepis* representan una parte importante de la biodiversidad de Sudamérica. Son considerados como el tipo de hábitat más amenazado en Bolivia; estimaciones indican que menos del 10% de la extensión original sobrevive actualmente. Hasta el año 1996, en el género *Polylepis* registraron 20 especies, conociéndose 10 en el Perú, 9 en Ecuador y 9 en Bolivia, los cuales conforman relictos boscosos en diversos ecosistemas de alta montaña, gracias a su adaptación morfológica y fisiológica.

Estos bosques cumplen un importante rol ecológico como participar activamente contra los procesos de erosión, además que son refugio y fuente de alimento para muchas especies (Fjeldsa & Kessler 1996). Actualmente, las poblaciones campesinas continúan en una relación muy estrecha con dichos bosques, ya que dependen fuertemente de ellos para la provisión de leña, carbón y agua; la misma que conllevaría a su degradación y desaparición de la especie, al igual que la fauna y flora que sobreviven específicamente en estos ecosistemas.

Bajo condiciones naturales su recuperación es complicada, debido a que la semilla presenta bajo poder germinativo. Según investigaciones realizadas por Pretzell (1985) en Perú, *Polylepis incana* presentó valores de germinación entre 2 a 4%. De acuerdo a experiencias realizadas en Argentina, Guzmán (2006) reportó un 3.1% de germinación en *Polylepis tomentella*; asimismo, presentan una dispersión pobre de semillas (Aguirre 1988; Brauer 1986, citados por Cruz 1999) y por otro lado, las plántulas tienden a ser consumidas por el ganado presente en el lugar, lo que hace que su reproducción se efectúe a largo plazo.

Polylepis pepeí es un arbusto o árbol pequeño que puede llegar hasta 4 m, parece una miniatura de *Polylepis sericea*; se distingue por presentar foliolos más pequeños y menos números, con frutos característicos con bordes torcidos con abultamientos (pero sin espinas). Es una especie rara, conocida solo de 3450 a 4100 msnm en el límite superior de los bosques de Yungas en la zona de transición desde los bosques a la zona de la puna y a menudo crece junto con otros árboles pequeños tales como *Escallonia* o *Gynoxys* spp y prefiere áreas con niebla (Simpson 1979). De acuerdo con estudios ornitológicos en la región Altoandina de Bolivia, más de 110 especies de aves utilizan los bosques de *Polylepis* y cerca de 40 especies dependen exclusivamente de estos como de *P. pepeí* en el cual habita *Nairetes* (ave en peligro de extinción).

Para ayudar a la recuperación de las especies de *Polylepis* se ha optado por realizar técnicas de cultivo *in vitro*, la cual podría conseguirse en corto y mediano plazo, bajo condiciones de laboratorio, donde se utilizan los componentes y condiciones ambientales más adecuados para la propagación de la especie estudiada, libre de patógenos y enfermedades (Vega 2004). Sin embargo, uno de los mayores obstáculos para el establecimiento a condiciones *in vitro* es la contaminación, para ello, se recomienda desinfectar los explantes previo a la inoculación en el medio de cultivo. Siendo que los contaminantes pueden afectar en el desarrollo y sobrevivencia de los explantes, al competir con ellos o generar modificaciones en el medio. Además, es importante mencionar que la gran mayoría de las especies forestales en condiciones *in vitro* presentan problemas de oxidación fenólica (Darias 1993) la cual afecta el establecimiento de los explantes.

Vega et al. (2004) han desarrollado un protocolo adecuado para la multiplicación en *Polylepis racemosa*, *P. bessi*, *P. tomentella* y *P. tarapacana* donde determinaron que el medio de cultivo de TL (Tremblay & Lalonde 1984) fue el que generó mayor cantidad de brotes en las cuatro especies en estudio; de forma similar este medio de cultivo empleado favoreció en una mayor cantidad de brotes en *P. tomentella* (Vega et al. 2007). En ese sentido, el presente trabajo tiene como finalidad estandarizar el proceso de desinfección de las yemas de *Polylepis pepeí*, al igual que su establecimiento y posterior multiplicación en condiciones *in vitro*.

2. Materiales y métodos

Fase de campo

La colecta del material vegetal se realizó en los bosques de Lampayani, donde se encuentra una población representativa de *P. pepeí* con un área total de bosque de 10 ha ubicada alrededor de la comunidad Keara en la provincia Franz Tamayo, dentro del Parque Nacional y Área de Manejo Integral Madidi. El bosque de Lampayani se encuentra a lo largo de la cordillera real, estas regiones presentan un relieve de montaña que incluye mesetas de altura y suaves Valles con un rango de altitud entre los 3200 a 3900 msnm. Los ambientes abarcan vegetación de tipo mayormente arbustivo y herbáceo, y algunos grupos arborescentes como *Polylepis* sp.

Inicialmente se realizó la selección de plantas donadoras del material vegetal, viendo que los arbustos de *P. pepeí* no muestren síntomas de enfermedades y que las ramas de los individuos presenten yemas juveniles, es decir, que no se encuentren en estado de floración. Para evitar sesgos de variabilidad genética, se colectó las ramas *P. pepeí* de diferentes

individuos dentro del bosque de Lampayani.

Luego se procedió al corte de ramas con un largo que oscila entre los 20 a 30 cm y cada rama tenía entre 1 a 3 yemas apicales; seguidamente las ramas se colocaron en bolsas de polietileno con agua dentro de una conservadora con la finalidad de evitar la pérdida de humedad de los tejidos; así como, también minimizar los daños mecánicos durante el transporte hasta su llegada al laboratorio.

El trabajo de propagación *in vitro* se desarrolló en instalaciones de la Unidad de Biotecnología Vegetal del Instituto de Biología Molecular y Biotecnología, dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés.

Fase de laboratorio

Establecimiento de yemas de *P. pepeí* a condiciones *in vitro*

Las ramas con yemas de *P. pepeí* se colocaron en recipientes con agua para evitar su deshidratación, luego se escogieron y cortaron las yemas apicales juveniles de cada rama. Procedimiento de desinfección utilizando fue el protocolo establecido por Rocabado & Quezada (2004). Seguidamente, dentro de la cámara de flujo laminar se diseccionó la parte externa de las yemas, quitando el tejido necrótico hasta obtener la yema con tejido meristematico, posteriormente se eliminó la pubescencia del tallo y cortando el mismo diagonalmente para su siembra en el medio de cultivo Chu et al. (1975) el cual fue suplementado con 0.5 mg·l⁻¹ de AIB, 1 mg·l⁻¹ de AG3, 1 mg·l⁻¹ de BAP, 30 g·l⁻¹ de azúcar, 4.5 g·l⁻¹ de agar y ajustado a un pH de 5.7 ± 0.1.

Para una segunda introducción durante la desinfección se varió las concentraciones

de hipoclorito de sodio (NaClO) y tiempos de inmersión en esta solución; cuyos tratamientos consistieron en: T1 (1.5% NaClO *25 min.), T2 (1.7% NaClO *20 min.) y T3 (2% NaClO *15 min.). Durante esta fase se evaluaron: porcentaje de contaminación fúngica y bacteriana, porcentaje de sobrevivencia y grado de oxidación.

Multiplicación in vitro

Los explantes provenientes del anterior fase, fueron sembrados en tres medios; primero se utilizó el medio basal TL (Tremblay & Lalonde, 1984) en el cual se varió las concentraciones de los reguladores de crecimiento, cuyos medios correspondieron en: T1 (TL + $0.23 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ BAP + $0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ AIB) y T2 (TL + $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ BAP) y el tercer medio estaba constituido por el medio basal (Chu et al. 1975) con $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AIB + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AG3 + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BAP (T3). Pasado los 30 días de siembra se evaluaron el número y altura de brotes y número de hojas/brote.

3. Resultados y discusión

Establecimiento in vitro

Primera prueba de introducción

La desinfección de los explantes fue efectiva ya que no se presentó contaminación. Sin embargo, este tratamiento desinfectante (2% de hipoclorito de sodio por 15 minutos) fue muy agresivo con los explantes ya que redujo la sobrevivencia a 31.5% y los restantes perecieron.

Segunda prueba de introducción

Contaminación fúngica y bacteriana

El porcentaje de contaminación fúngica varió significativamente en relación

a los tratamientos de desinfección ($F=7.00$; $GL_{2, 219}$; $P<0.001$), ya que se evidenció, que en el tratamiento T3 (2% NaClO *15 min.) presentó menor porcentaje de contaminación (0.7%); y el mismo resultado ser diferente a los otros dos tratamientos desinfectantes. Esta solución desinfectante utilizada presentó mayor concentración de hipoclorito de sodio en comparación con los demás tratamientos, razón por lo que, el desinfectante actuó de manera más eficiente en la eliminación de los agentes patógenos. Sin embargo, en los tratamientos desinfectantes T1 (1.5% NaClO *25 min.) y T2 (1.7% NaClO *20 min.) se presentó un 14.8% y 8.9% de contaminación fúngica respectivamente.

En el T1, los explantes estuvieron inmersos durante un tiempo más prolongado, pero con una menor concentración de hipoclorito de sodio. No obstante, éste periodo de tiempo no llegó a ser suficiente para tener una eficaz desinfección, por lo tanto, podría obtenerse un mayor grado de contaminación con relación al T2. No obstante, el T2 a pesar de que la concentración de hipoclorito de sodio fue relativamente mayor que T1 y con un tiempo de exposición menor, la contaminación fúngica fue relativamente baja. Este resultado hace suponer que la concentración de hipoclorito de sodio en *P. pepel* probablemente sea un parámetro determinante que el tiempo, ya que los rangos de intervalo de 5 minutos que tenía cada tratamiento al parecer no afectaron.

Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en cuanto a la contaminación bacteriana de los diferentes tratamientos de desinfección ($F=1.44$; $GL_{2, 219}$; $P>0.001$).

Oxidación

El análisis estadístico mostró diferencias estadísticas en la oxidación ($F=3.63$; $GL_{2,219}$; $P<0.001$). La figura 1 muestra que T2 presentó mayor número de explantes con un nivel de oxidación 2 (la oxidación es relativamente leve, la cual no ocasiona la muerte de los explantes). La oxidación se produce debido a un daño mecánico al explante que conlleva a la liberación de radicales libres como los fenoles, que se expresan con un empardecimiento del medio de cultivo que se inicia en las zonas cercanas al explante y que puede extenderse por todo el medio como consecuencia del proceso de oxidación, pudiendo llegar a impedir al explante, la absorción de nutrientes a tal nivel que cause su muerte (Quezada 2005 citada en Mamani 2005).

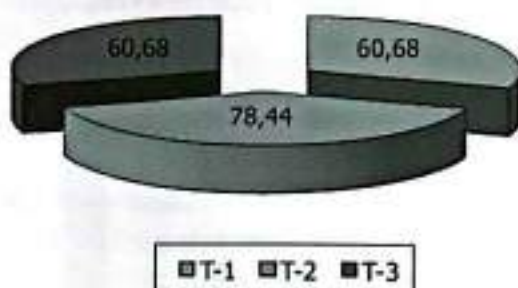


Figura 1. Porcentaje de explantes oxidados en tres tratamientos desinfectantes.

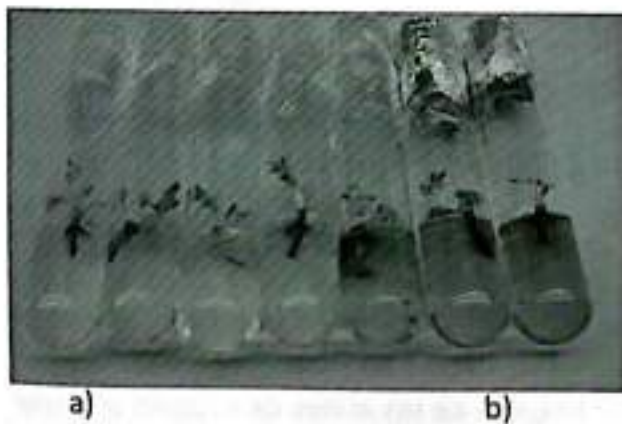


Figura 2. Grados de oxidación a) Relativamente leve y b) Leve (Ambos grados de oxidación no ocasionan muerte de los explantes).

Sobrevivencia

En relación a los porcentajes de sobrevivencia (Figura 3), se evidenció que en los tres tratamientos de desinfección no difirieron entre sí ($F=1.40$; $GL_{2,219}$; $P>0.001$). El T2, T1 y T3 presentaron un 73.6%, 68.9% y 62.7% de sobrevivencia respectivamente.

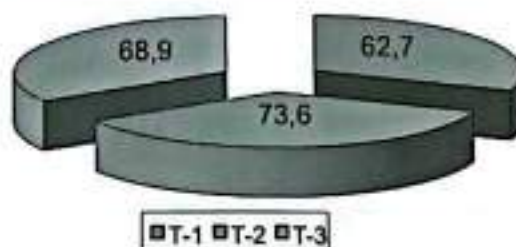


Figura 3. Porcentaje de sobrevivencia por tratamientos desinfección.

Al presentar un bajo porcentaje de sobrevivencia en *P. pepei* con el 2% de hipoclorito de sodio por 15 minutos de desinfección, probablemente este resultado se debió a que este desinfectante fue estandarizado para yemas apicales de *P. racemosa* (Quezada & Rocabado 2005) que son de mayor tamaño y con mayor pubescencia; por lo que el tejido se encontró menos expuesto a la acción agresiva del desinfectante. Mientras que, las yemas de *P. pepei* al ser más pequeñas y menos pubescentes son más sensibles al desinfectante. En este sentido, se puede señalar que los explantes de *P. pepei*, no soportaron altas concentraciones de hipoclorito de sodio, llegando de esta manera a reducir la sobrevivencia.

El T3 (2% NaClO 15 min.) presentó mayor efectividad en la desinfección, sin embargo, también fue en el que se presentó mayor porcentaje de muerte de los explantes (30.4%) y de estos sobrevivieron un 68.9%. En el T1 (1.5% NaClO 25 min.) se perdieron los explantes por contaminación (14.8%) y un 22.5 por necrosis y un 62.7 sobrevivieron. Sin embargo, el T2 (1.7% NaClO 20 min.) fue el más eficiente desinfectante en las yemas de *P. pepei* y se lograron establecer un 73.6% de explantes con bajo porcentaje de contaminación (8.9%) y con relativo bajo porcentaje de explantes muertos (17.5%).

Fase de multiplicación in vitro

Número de brotes

El número de brotes formados en los tres medios de cultivo, durante el primer subcultivo en *P. pepei* no varió significativamente ($F=2.71$; $GL_{2,57}$; $P>0.001$). Sin embargo, se evidenció que en el medio de cultivo Chu et al (1975) con $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AIB + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AG3 + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BAP (T3) presentó mayor cantidad de brotes que los otros dos medios de cultivo de los cuales el medio basal de sales fue el medio TL (Tremblay & Lalonde, 1984), ver figura 4 y 5.

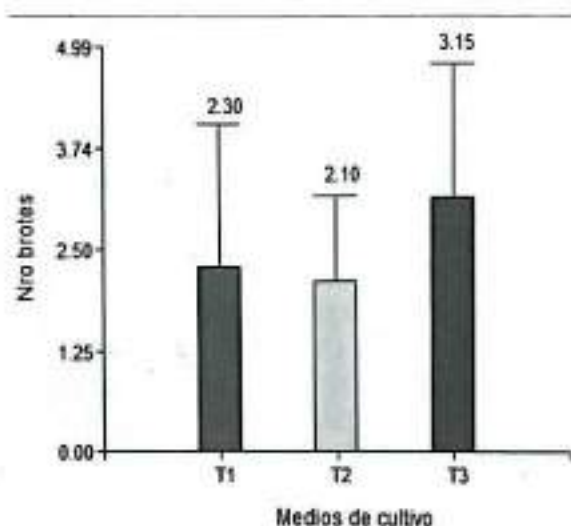


Figura 4. Número de brotes en diferentes medios de cultivo. T1 (TL + $0.23 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ BAP + $0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ AIB), T2 (TL + $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ BAP) y T3 (Chu et al.1975 + $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AIB + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AG3 + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BAP).

Comparando con otra especie del género *Polylepis* que fueron sometidos al mismo medio de cultivo del T1 (TL + $0.23 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ BAP + $0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ AIB) en *P. tomentela* sp nana (Vega et al. 2007) formaron 6 brotes. Mientras que, en *P. pepei* fue 2 veces menor (2.3 brotes) en relación a *P. tomentela* ssp nana. Estos resultados sugieren que la respuesta en cuanto al número de brotes está influenciado por el genotipo a cultivar y el estado de desarrollo de la planta (Pierik 1990).

No obstante, en un estudio realizado por Jaramillo (2008) en *P. microphylla* en el medio de cultivo T3 (Chu et al. 1975 + $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AIB + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AG3 + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BAP) obtuvo 2.9 brotes. Se podría señalar que en *P. pepei* se obtuvo un similar resultado ya que en la especie en estudio se obtuvo 3.1 brote. Pero utilizando $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BAP + $1.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AG3 + $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AIB en *P. microphylla* se incrementó el número de brotes (4).



Figura 5. Brotes que se desarrollaron en el medio de cultivo (Chu et al. 1975).

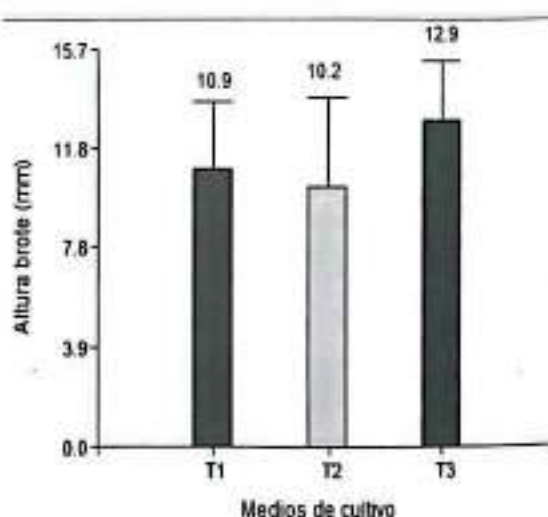


Figura 6. Longitud de brotes en diferentes medios de cultivo. T1 (TL + $0.23 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ BAP + $0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ AIB), T2 (TL + $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ BAP) y T3 (Chu et al.1975 + $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AIB + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AG3 + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BAP).

La longitud de los brotes de *P. pepei* difirieron significativamente en los tres medios de cultivo utilizados ($F=4.59$; $GL_{2,57}$; $P<0.001$). Siendo el T3 (Chu et al. + $0.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AIB + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de AG3 + $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BAP) el que presentó brotes con mayor altura (12.9 mm), y este tratamiento fue

estadísticamente diferente del T1; pero el T3 tuvo un comportamiento similar que T2.

Es así, que el T2 (TL + 0.2 mg·l⁻¹ BAP) generó brotes que alcanzaron una altura promedio de 10.2 mm, mientras que, en el T1 (TL + 0.23 mg·l⁻¹ BAP + 0.1 mg·l⁻¹ AIB) se observó una menor longitud de los brotes de 10.9 mm (Figura 6).

La mayor longitud registrada en el medio de cultivo del T3 (Chu et al. 1975 + 0.5 mg·l⁻¹ de AIB + 1 mg·l⁻¹ de AG3 + 1 mg·l⁻¹ de BAP) probablemente se deba a que este medio de cultivo se tiene 9 veces de AIB que el T1 y además tiene suplementado 1 mg·l⁻¹ de AG3 a diferencia de los otros dos medios de cultivo del (T1 y T2).

La razón por lo cual se observó mayor longitud de los brotes en el T3 se debe a que el AIB y AG₃ promueven el alargamiento celular (Gómez 1999).

Número de hojas

El número de hojas formadas en los distintos medios de cultivo durante la multiplicación in vitro en *P. pepei* fue significativamente diferente ($F=4.50$; $GL_{2,57}$; $P<0.001$). Ya que los brotes que estaban en el medio de cultivo (Chu et al. 1975 + 0.5 mg·l⁻¹ de AIB + 1 mg·l⁻¹ de AG₃ + 1 mg·l⁻¹ de BAP) del T3 presentaron mayor número de hojas (7.8) siendo este medio de cultivo estadísticamente diferente del T1 (TL + 0.23 mg·l⁻¹ BAP + 0.1 mg·l⁻¹ AIB) pero el T2 (TL + 0.2 mg·l⁻¹ BAP) fue estadísticamente similar que el T1 y T3.

Llegándose a formar en el T2 y T1 4.5 y 5.7 hojas por brote subcultivado respectivamente (Figura 7).

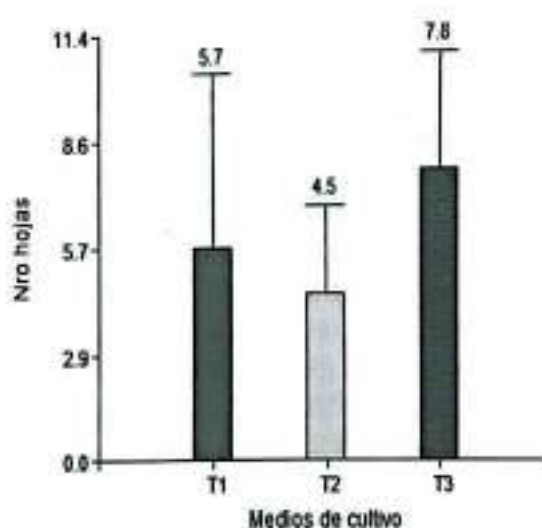


Figura 7. Número de hojas por brote subcultivado en diferentes medios de cultivo. T1 (TL + 0.23 mg·l⁻¹ BAP + 0.1 mg·l⁻¹ AIB), T2 (TL + 0.2 mg·l⁻¹ BAP) y T3 (Chu et al 1975 + 0.5 mg·l⁻¹ de AIB + 1 mg·l⁻¹ de AG₃ + 1 mg·l⁻¹ de BAP).

Durante esta fase, en el segundo y tercer subcultivo se evidencio en los brotes de *P. pepei* la presencia de bacterias, las mismas que aparecieron inicialmente en la base de los brotes en un 90% de los mismos; este tipo de contaminación se piensa pudo deberse a causa de una bacteria endógena, ya que durante la fase de introducción y en el primer subcultivo no se presentó dicha bacteria, probablemente esta expresión se debió al incremento de la temperatura en la cámara de crecimiento (aproximadamente de 32 +/- 2 °C). Para mitigar este efecto, un grupo de los brotes fueron inmersos en una solución de gentamicina y los demás fueron desinfectados con hipoclorito al 0.2% durante 1 minuto, para nuevamente pasarlos a medio fresco. A pesar de la aplicación de estos tratamientos desinfectantes, la bacteria volvía a expresarse, debido a esto se hizo un antibiograma, prueba que determinó el antibiótico preciso para eliminar este problema además, se determinó que era una bacteria Gram negativa resistente a la gentamicina, la cual se desarrollaba mejor en altas temperaturas (25-37 °C); a consecuencia de ello se perdió todo el material vegetal. Al respecto, Digonzelli (2007) menciona que las bacterias son los contaminantes más comunes, que ocasionan serios problemas porque pueden ser sistémicas y

son difíciles de detectar. Algunas son endógenas o sea viven con el explante y son muy difíciles de eliminar. A menudo no se observan en los primeros subcultivos, manifestándose en la fase de multiplicación.

Estos microorganismos escapan a los efectos de desinfección superficial y pueden ser inter o intracelulares, entre los últimos se encuentran muchos géneros bacterianos como: *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Corynebacterium* y *Pseudomonas*. Se descartó la idea de trabajar con antibióticos, ya que estos podrían afectar a la multiplicación y desarrollo de las vitroplantas, pudiendo afectar a la tasa de crecimiento de los tejidos cultivados (George & Sherrington 1984).

4. Conclusiones

El mejor tratamiento desinfectante para yemas de *P. pepei* fue el T2 (1.7% NaClO*20 min.). El medio que presentó mejores resultados para la fase de multiplicación *in vitro* en *Polylepis pepei* fue el medio (Chu et al. 1975) + 0.5 mg·l⁻¹ de AIB + 1 mg·l⁻¹ de AG3 + 1 mg·l⁻¹ de BAP.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento de la Asociación Armonía dentro del marco del proyecto Conservación de Aves Amenazadas de los Bosques de *Polylepis* en Bolivia, bajo la coordinación de la Lic. Isabel Gómez.

5. Referencias bibliográficas

- Cruz, A. S. 1999. Efecto de sustratos orgánicos en la reproducción vegetativa de la queñua (*P. incana*, H.B.K.) Rosoideae. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. 92 p.
- Darías, R. 1993. Recopilación de temas sobre técnicas de cultivo *in vitro*. Oruro, Bolivia. U.T.O. Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas. Cuba. 169 p.
- Digonzell P., Díaz L., Carrizo S., Latife J. & Sosa S. 2007. Diferentes dosis de ppm para controlar la contaminación bacteriana y sus efectos sobre el crecimiento *in vitro* de cana de azúcar en la etapa de multiplicación consultado 15 de agosto 2007 disponible en línea http://www.redbio.org/portal/encuentros/enc_2001/posters/01/posterpdf/01-083/=Texto=.PDF.
- Fjeldsa J. & Kessler, M. 1996. Ecología en Bolivia. Revista del Instituto de Ecología. No 9. Edición Instituto de Ecología (UMSA). La Paz, Bolivia. p. 1 - 13
- Jaramillo P. 2008. Establecimiento del cultivo *in vitro* de *Polylepis microphylla* como futura estrategia de conservación de la especie en la provincia del Chimborazo. Tesis de licenciatura en la Escuela Politécnica del Ejército – Departamento de Ciencias de la vida Ingeniería en Biotecnología. 117 p.
- Mamani, B. 2005. Comportamiento *in vitro* de dos variedades de frutilla (*Fragaria ananassa* Duch.) para su micropropagación en diferentes medios de cultivo. Tesis de Lic. en Agronomía, U.M.S.A. La Paz, Bolivia. 100 p.
- Quezada J. y P. Rocabado. 2005. Inducción del enraizamiento *in vitro* de brotes caulinares de *Polylepis racemosa* a través del manejo de la concentración de ácido indolacético (AIA) y sacarosa. En Revista BIOFARBO, Órgano Oficial del Colegio de Bioquímica y Farmacia de Bolivia. La Paz, Bolivia. 83 – 86 p.
- Pierik R. 1990. Cultivo *in vitro* de plantas superiores. Ed. Rev. Editorial Mundiprensa. Madrid España. 327 p.
- Vega, C. 2002. Introducción y micropropagación *in vitro* de cuatro especies de Keñua

(*Polylepis* sp) del departamento de La Paz. Tesis de Grado. Universidad Loyola. Carrera de Agronomía. La Paz, Bolivia. 112 p.

Vega, C. 2007. Propagación masiva de *Polylepis tomentosa* weddell ssp. nana mediante técnicas de cultivo in vitro. Revista Ecología en Bolivia Vol. 42(2) p. 102-120.

Don't be
the first to

ETNOCLIMATOLOGIA COMO ESTRATEGIA PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN LA AGRICULTURA FAMILIAR

Etnoclimatology as Planing Strategy for Early Warning System in Family Farming

Coronel, L.¹

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

¹ Docente de la materia de Dasonomía y Silvicultura, especialista en Etnoclimatología, carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

Current knowledge about weather patterns do not identify with certainty the time to come, and predictions are less reliable. Based on the experience, a farmer can predict with certainty the next rain, from the face of the sky and other atmospheric details that are familiar. These manifestations of popular meteorology are based on observations and experiences of local character and under this point of view local or regional must guide them. Climate interpretation through biological and abiotic indicators (stars and meteors) has had and has great importance in the communities of the Andes of Bolivia, for representing knowledge needed to make decisions in agricultural planning activities in their risk control strategies. The present work aims to make an arrangement and systematization of local knowledge on climatic biomarkers as a strategy for managing risk in highland communities. The information recorded was achieved by selection of people, according to their suitability recognition granted by its social environment. Although it finds a process of legitimacy loss of this knowledge by their owners, either by alterations of global climate change, discrimination and subvalorations they are submitted by the formal system of science and technology, the fact is that they are verifiable using it to make their family farm planning decisions in the absence of alternatives to formal scientific knowledge existing institutions.

Keyword: Climate, time, farming and risk

Resumen

Los conocimientos actuales sobre el comportamiento del clima no permiten determinar con absoluta certeza el tiempo venidero, y las predicciones son menos fidedignas. Basándose en la experiencia; un campesino puede predecir con seguridad la lluvia próxima, a partir del aspecto del cielo y en otros detalles atmosféricos que le son familiares. Estas manifestaciones de la meteorología popular se basan en observaciones y experiencias de carácter local y bajo este punto de vista local o regional hay que orientarlas. La interpretación del clima a través de indicadores biológicos y abióticos (astros y meteoros) ha tenido y tiene gran importancia en las comunidades de Los Andes de Bolivia, por representar conocimiento necesario para tomar decisiones en la planificación de las actividades agropecuarias en sus estrategias de control de riesgo. El presente reporte, tiene como objetivo realizar un ordenamiento y sistematización del saber local sobre los bioindicadores climáticos, como estrategias para la gestión de riesgo, en las comunidades del altiplano. La información registrada se logró por selección de las personas, de acuerdo al reconocimiento de su idoneidad que le otorga su

entorno social. Aunque se constata un proceso de pérdida de legitimidad de este conocimiento por sus propios poseedores, sea por las alteraciones del cambio climático global, la discriminación y subvaloración al que es sometido por el sistema formal de ciencia y tecnología, el hecho verificable es que siguen usándolo para tomar sus decisiones de planificación agraria familiar, ante la ausencia de alternativas del conocimiento científico formal de las instituciones existentes.

Palabras clave: Clima, tiempo, agricultura y riesgo

1. Introducción

El comportamiento y las variaciones del clima, determinan la práctica agrícola en muchas partes del mundo. Esta situación es más influyente en el altiplano; donde se presentan factores climáticos adversos y recurrentes que influyen en la producción agropecuaria y en la seguridad alimentaria de la población. Frente a esta situación, los agricultores de la zona andina han desarrollado tecnologías y prácticas para adaptarse a este frágil ecosistema; pero también han tenido que optar por conocer y generar métodos y tecnologías muy específicas, con alta probabilidad de predicción y previsión real de lo que puede ocurrir con el comportamiento de los factores del clima en el próximo ciclo agrícola.

En efecto, para mitigar esta situación, la predicción del tiempo a través de la observación del comportamiento fenológico de la flora, de las conductas de ciertos animales, así como el comportamiento de los astros en determinadas fechas del año, son prácticas muy enraizadas en la cultura andina. Estas observaciones siempre fueron relacionadas con el comportamiento climático para el próximo ciclo agrícola (corto tiempo), en términos de un sistema de alerta temprana para planificar estratégicamente en tiempo y espacio, la siembra de los cultivos, principalmente la papa y granos andinos. Como muchos otros aspectos de la vida cotidiana de las comunidades rurales, especialmente de los pueblos indígenas, los cambios en el clima y su influencia en las cosechas, en la disponibilidad de agua y alimentos, entre otros, hacen parte fundamental de los conocimientos tradicionales. Para Ulloa, et al. (2008) La transmisión de

conocimientos ancestrales y su adaptación a los nuevos tiempos son una herramienta fundamental que permite a estas comunidades la supervivencia material y cultural.

Al respecto, Torres (2006) señala que recientemente se ha establecido formalmente como nueva disciplina de investigación del clima, la ETNOCLIMATOLOGÍA, que estudia el conocimiento de las sociedades rurales agrarias en la predicción de los cambios climáticos a partir de indicadores biológicos y astronómicos, que observan para tomar decisiones productivas, religiosas y de costumbres.

Es así, que, para los agricultores de Los Andes, la dispersión del riesgo no es un concepto nuevo; la mayor parte de los agricultores han practicado desde siempre. La dispersión de los cultivos por pisos ecológicos y con diferentes tiempos de maduración (épocas de siembra), es una estrategia desarrollada para minimizar las posibles pérdidas por fenómenos climáticos adversos (Regalsky y Hosse 2009). Este conocimiento tradicional se define como las innovaciones y las prácticas de las comunidades locales que incluyen estilos tradicionales de vida pertinentes para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica; que por lo general han sido transmitidos de generación en generación oralmente.

Las comunidades circundantes al lago Titicaca, tienen mayor especialización sobre el conocimiento de los indicadores y su capacidad de acierto en las predicciones climáticas, especialmente frente a eventos

climáticos extremos. Han incorporado en sus conocimientos milenarios una gran cantidad y calidad de conocimientos y experiencias sobre el comportamiento de la biodiversidad y de otros componentes de su medio natural. Sin embargo, existe poca información sistematizada, debido a que se transmite, oralmente de generación en generación y esto ha generado la pérdida de información valiosa (erosión del conocimiento). Por estos antecedentes, el presente trabajo tiene como objetivo realizar el ordenamiento y sistematización del conocimiento local milenario sobre los bioindicadores climáticos de la zona andina, particularmente en el municipio de Tiwanaku y avanzar en la verificación de "supuestos" de los agricultores y el grado de error en sus predicciones para la toma de decisiones en la gestión del riesgo.

2. Materiales métodos

El reporte se realizó en el municipio de Tiwanaku, distante a 71 km de la ciudad de La Paz; se conecta con la sede de gobierno a través de la carretera internacional Río Seco-Desaguadero. El clima es seco, con precipitaciones promedio de 550 mm/año, distribuidas durante noviembre y abril en un 80% y el resto en los otros meses. Presenta heladas, granizadas, inundaciones y sequías en ciclos muy irregulares y recurrentes. Estos fenómenos meteorológicos afectan negativamente a la actividad agropecuaria. Los cultivos agrícolas en su mayoría son de temporada de lluvias, de secano, sin riego y con una cosecha al año. La ganadería, caracterizada por la bobina es extensiva y es fundamental en la actividad económica de la población.

El estudio se realizó en dos momentos: el primero consistió en la revisión de las investigaciones que han registrado los conocimientos de los agricultores sobre los bioindicadores climáticos. En la segunda parte, se analizó las observaciones registradas en dos periodos agrícolas consecutivos (2010-2011 y 2011-2012) y se

correlacionó con los indicadores más conocidas para determinar su grado de confiabilidad. En esta participaron los agricultores, a través de informantes clave, identificados previamente.

En el primer momento se sistematizó y caracterizó la información sobre los conocimientos locales, acerca del uso de indicadores climáticos; potencialidades y limitaciones de los mismos. En el segundo momento, se verificó las predicciones de los agricultores, en dos gestiones agrícolas; confrontándolo con lo que realmente ocurrió con el comportamiento de los factores del clima (sobre todo lluvias y temperaturas) y la influencia en la producción agropecuaria, por especies y variedades. Para ello, se han recogido información primaria de las personas identificadas como informantes clave de cada comunidad.

El acopio de información primaria sobre los indicadores biológicos y astronómicos predictores del comportamiento climático, se basó en entrevistas personalizadas guiadas por criterios consignados en la encuesta aplicada por Torres (2006). Los mismos se listan a continuación: i) Cambios en el comportamiento fenológico de las plantas silvestres (época de floración y fructificación); ii) Cambios en el comportamiento de la fauna silvestre; iii) Cambios en la presencia de meteoros en determinadas épocas del año; iv) Cambios en la visualización de los astros; v) Cambios en el comportamiento del paisaje; vi) Cambios en las fuentes y flujos naturales de agua.

3. Resultados y discusión

Indicadores comunes a nivel del municipio

Existe un gran número de indicadores biológicos y atmosféricos, que las personas observan y manejan para pronosticar el próximo ciclo agrícola. Dentro de esta diversidad y complejidad de indicadores, se construyen criterios que con mucho acierto permiten

planifican en espacio y tiempo, la siembra de los cultivos. Para el presente trabajo, se tomaron aquellos indicadores que son más frecuentes en la toma de decisiones.

Este tipo de conocimiento tiene carácter especializado entre las familias campesinas, por ello, la muestra no puede tomarse del universo de la población, sino, de la identificación inicial de personas dominadoras de este tipo del saber local en cada comunidad.

Comportamiento de los astros y meteoros

Las estrellas

El indicador más importante está referido a las observaciones del brillo y amplitud a partir del mes de septiembre de la constelación de estrellas que conforman la Vía Láctea, denominado por los habitantes de la cuenca "Khoto". Cuando estas se observan al amanecer, con mayor brillo y amplitud, son señal de buena producción agrícola, lo contrario, es señal de escasa precipitación pluvial. Durante el estudio, se observó que la presencia de las estrellas, fue con mayor brillo y mediana amplitud, lo que significó, cosechas regulares en los dos periodos agrícolas. Para Miranda et al. (2009) las observaciones sobre los astros son parte del conocimiento tradicional sobre el medio ambiente: los campesinos saben que los ciclos naturales están relacionados íntimamente con los movimientos de los astros, por lo que su seguimiento constituye un elemento en la toma de decisiones para la agricultura.

La luna

El brillo de la luna llena en los últimos tiempos es más intenso, es de color más blanquecino esto indica que no lloverá durante el mes; cuando es amarillento existe alta probabilidad de ocurrencia de lluvias durante el mes entrante. En tiempos pasados solía ser amarillento en

los meses de septiembre, octubre y noviembre lo que indicaba lluvias que dejaban humedad para las siembras de oca, haba y papa. Según Regalsky y Hosse (2009) las sociedades agropecuarias andinas se caracterizan por tener una lógica de producción en la cual el manejo de los conceptos de tiempo y espacio está ligado a estrategias productivas relacionadas con la minimización de riesgos.

Las nubes

Generalmente se observa la presencia y comportamiento de las nubes de la familia de tipo estrato bajo (el urpu). Los estratos son mantos de nubes muy uniformes, de un color gris más o menos oscuro, según el espesor de las mismas, a veces dan al cielo un aspecto plomizo y pesado. En el mes de agosto, se observa su comportamiento en tres momentos: si los primeros días del mes, se presenta con mayor intensidad y constante, significa siembra adelantada (nayra sata); si se presenta con las mismas características, a mediados del mes, se preparará la siembra media (taypi sata). Y si estas nubes, se presentan al finalizar el mes, la siembra será tardía (kepa sata). Por tanto, estas nubes presagian también ocurrencia de precipitaciones en los meses venideros.

Durante el trabajo de investigación, para la campaña agrícola 2010-2011, estas nubes se presentaron con mayor intensidad y frecuencia, al finalizar el mes de agosto, por lo que, los agricultores, en su mayoría realizaron siembras tardías, en las que se obtuvieron buenas cosechas; mientras las tempranas y las medias siembras, fueron afectadas por sequías y helas primaverales. Esta afirmación se puede contrastar con la curva de precipitación ocurrida durante este periodo.

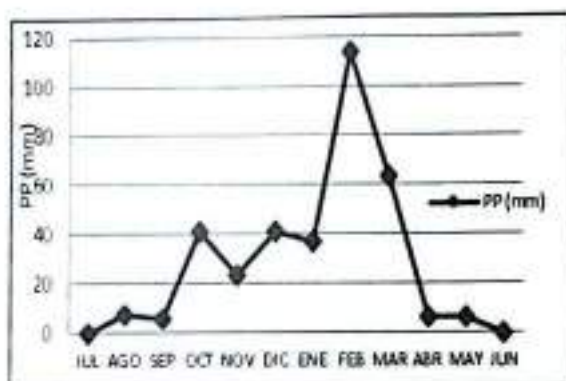


Figura 1. Comportamiento de la precipitación durante el periodo agrícola 2010-2011 (SENAMHI)

En la Figura 1 se observa que la temporada de lluvias comenzó con mayor frecuencia sostenida desde mediados del mes de noviembre, llegando a su pico máximo en el mes de febrero. También se puede aseverar que mayor precipitación ocurre justo cuando los cultivos están en plena floración, lo que favoreció en el suministro del agua oportuna y en cantidad suficiente para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La frecuencia e intensidad de precipitación disminuye hasta mediados del mes de abril. Con lo que favorece a los cultivos a concluir su madurez fisiológica satisfactoriamente. Por tanto se puede concluir que la observación de los agricultores sobre el comportamiento de las nubes de tipo estrato, estuvo acertada y existe una alta correlación con los pronósticos del SENAMHI.

Para el siguiente periodo agrícola (2011-2012) también se hizo la observación del comportamiento de estas nubes en el mes de agosto. Las nubes se presentaron con mayor frecuencia e intensidad en la tercera y cuarta semana del mes de agosto, lo que indicó que las lluvias llegaron tarde y las siembras tendrán que planificarse como siembra tardía (kepa sata). También se hizo la correlación con la ocurrencia de la precipitación durante el periodo de referencia, como se observa a continuación:

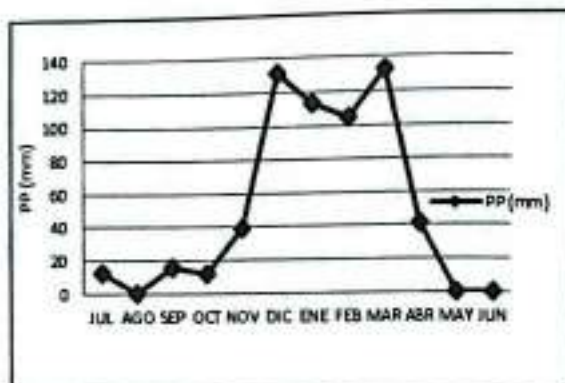


Figura 2. Comportamiento de la precipitación durante el periodo agrícola 2011-2012 (SENAMHI)

En la Figura 2 se observa el comportamiento de la precipitación durante el periodo agrícola de referencia. Las lluvias comenzaron desde principios de noviembre, humedeciendo el suelo agrícola y permitiendo de esta manera la germinación y emergencia de las semillas. En la curva se observa dos picos altos de precipitación; en diciembre y marzo. La cantidad de precipitación ocurrida en el mes de marzo, permitió a los cultivos concluir con su madurez fisiológica y, de esta manera tener buenas cosechas de papa, otros tubérculos menores, forraje y granos.

El 70% de los campesinos entrevistados (informantes clave), reconoce que los indicadores del comportamiento de las estrellas y las nubes de tipo estrato, señalan, si la temporada de lluvias se anticipará y será de buena calidad (cantidad de la precipitación pluvial mayor a la media anual y distribución uniforme durante el periodo de crecimiento de los cultivos).

Comportamiento de los animales (aves y mamíferos)

Pato silvestre (Uncalla)

Estas aves o patos silvestres viven su mayor tiempo en el lago Titicaca y ríos afluentes. Son excelentes pronosticadores de la ocurrencia de precipitaciones pluviales. Una de las características es que cuando construyen sus

nidos en lugares altos, indica que el próximo ciclo agrícola, las lluvias serán abundantes (año lluvioso). Cuando ponen sus huevos en lugares bajos, avizora un año con poca lluvia (sequía). Cuando construyen sus nidos en los totorales, calculan exactamente la subida del nivel del agua cuando las precipitaciones sean abundantes, y si, las precipitaciones fuesen escasas, construyen sus nidos casi al nivel actual de las aguas.

Durante el tiempo de la investigación, para el primer periodo, estas aves construyeron sus nidos casi al nivel actual de las aguas. Y es así, que si bien ha llovido lo necesario para el crecimiento óptimo de los cultivos, poco se ha elevado el nivel de las aguas. Similar comportamiento, se tuvo para el segundo periodo de observación, el nivel de las aguas del lago, no se elevó mucho.

Vanellus resplandens (Leke leke)

Es una ave pequeña de color plumizo, cabeza plana, patas rojizas y con plumas de color verde, traslucidos en la espalda. Tiene plumas de color oscuro alrededor de los ojos como si tuviera lentes. Se observa el comportamiento de las siguientes características: Si el color de los huevos es verde oscuro, significa que habrá abundante lluvia; en cambio, si es de color plomo claro, significa que las lluvias serán escasas (año seco). Si el huevo tiene muchas manchas oscuras y grandes, relaciona con la buena producción de papa y la presencia de manchas pequeñas, indica buena producción de quinua (año de poca lluvia).

Otro comportamiento de estas aves, es la construcción de su nido, cuando en el nido se observa clavos, paja y estiércol de oveja, significa que habrá presencia de granizo, sequía o heladas, y si sólo, está construido de paja, es señal de abundante lluvia. También se tiene como indicador, el lugar de ubicación de su nido. Si el nido está ubicado en las partes altas del terreno, es señal de ocurrencia de abundante

precipitación en el periodo agrícola siguiente; y si, está localizada en las partes bajas y planas, presagia escasez de precipitación para el ciclo agrícola venidero.

Durante el primer periodo de estudio, estas aves construyeron sus nidos en las partes bajas y planas, lo que según la sabiduría local, significa precipitación regular y las siembras se ubicaron en las partes planas. Esta información se correlaciona con la curva de comportamiento de la precipitación (Figura 1). Para el segundo periodo de reporte, estas aves construyeron sus nidos en las partes un poco elevadas, presagiando lluvias abundantes en algún momento del periodo agrícola de referencia y esta aseveración podemos correlacionar con la abundante precipitación que ocurrió en el mes de marzo, con 132,7 mm, que para algunos cultivos como la papa, podría verse afectado por inundación, anegamiento y pudrición de los tubérculos.

Zorro (Tivula)

Este animal que habita en diversos pisos ecológicos, también es un buen pronosticador del comportamiento de las variables climáticas, sobre todo lluvias. Con la característica de su aullido puede presagiar como será el próximo ciclo agrícola en cuanto a su producción, si en su aullido tartamudea (ch'aja) indica que la cosecha de los cultivos será abundante, si no tartamudea indica lo contrario. También las heces fecales de este animal es un buen indicador; si las heces son de color blanco y grandes tiene un significado de buena producción de los cultivos. Cuando el zorro aulla demasiado en las partes bajas o el río, será año bueno con lluvias, pero si el aullido es en los cerros, será año malo o de sequía. Durante el estudio, se observó caminar con frecuencia en las planicies, cerca al río Guaquirá y con aullidos esporádicos, lo que significa siembras en planicies y se obtuvo rendimientos buenos.

Lobivia sp. (Sankayo)

El sankayo es una cactácea que crece a nivel del suelo en las laderas de la cuenca del río Guaquirá. Se observa la época de floración: la primera floración se realiza entre los meses de junio y julio. La segunda en agosto y la tercera en noviembre. Una señal de buen año (lluvias abundantes y temperaturas adecuadas) es cuando la floración de esta planta es abundante en el mes de agosto. Los agricultores asocian a esta planta mayormente como indicadora del futuro crecimiento de los tubérculos, principalmente de la papa. Cuando las flores de esta planta están distribuidas en determinadas fechas en la estación de invierno, es señal de una mala producción de papa en el verano. Cuando la floración es densa indica que la cosecha de papa será abundante. PROSUKU/UNAPA (2006) comentan sobre la primera, segunda y tercera floración; si en alguno de estos momentos florece normalmente y llega a dar un buen fruto, significa que el momento de la floración se relaciona con el momento oportuno de la siembra y podrá dar una buena producción.

Durante el reporte, se observó la floración a finales del mes de agosto, lo que concluyó con la buena fructificación; similar comportamiento se observó en el segundo periodo, con bastante floración y fructificación. Este es otro de los indicadores que se utiliza con mayor frecuencia para las épocas de siembra, así como elegir las parcelas para la siembra de los cultivos. Por tanto, se puede correlacionar también con el comportamiento de la precipitación en el periodo agrícola venidera.

La confiabilidad de los indicadores por los agricultores

Existe la gran probabilidad que el cambio climático global este modificando el comportamiento de los indicadores usados; pero el proceso más notable es el efecto de la desvalorización, que los medios e instituciones

han sometido a este saber, desincentivándolo y mayormente negándolo en espacios académicos occidentales (Universidades). Ya que se puede observar de los resultados, la constancia de algunos indicadores a través de los diferentes pisos ecológicos con los cuales toman y han tomado decisiones apropiadas en años anteriores recientes e incluso en el periodo de estudio. Tienen un alto grado de acierto, lo que indica que a pesar de la aparente desconfianza, mantiene vigencia el saber etnoclimático, por su rol clave en la actividad agrícola. Lo evidente es que siguen tomando decisiones en base a él, ante la ausencia de una alternativa de la ciencia y tecnología moderna, que no puede ofrecer con certeza la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos para el próximo ciclo agrícola o por la ausencia institucional en los procesos productivos.

Los sistemas especializados de pronóstico mundial a la fecha no pueden pronosticar con sustento las posibilidades pluviométricas del próximo año, especialmente su asociación a un evento, EL NIÑO. Sin embargo; las familias necesitan tomar decisiones para preparar terrenos, semillas e insumos que requerirán para aprovechar las condiciones de abundancia de precipitaciones. Cada año se toman una serie de decisiones, dentro de las cuales tiene un gran peso la determinación acerca de si el siguiente ciclo agrícola será bueno, malo o regular y para ello, las comunidades han desarrollado un gran conocimiento sobre indicadores climáticos que le permiten realizar predicciones con un grado de certidumbre relativamente alto o, en todo caso, mucho más alto que el que logran las oficinas meteorológicas. Según FAO (s.f.) la información proporcionada a través de una lectura adecuada de los bioindicadores continúa siendo en varios lugares del altiplano una herramienta de planificación. Para Regalsky y Hosse, (2009). La productividad de la agricultura andina es una función de tecnologías sociales y ecológicas y no es el resultado de la aplicación de innovaciones mecánicas o químicas

Como pobladores de tierras altas, diversificaron modelos de apropiación espacial que corresponden a la fragilidad y diversidad de los sistemas ecológicos andinos, aprendieron a utilizar las limitaciones y las condiciones extremas de este medio para su propio beneficio (Regalsky y Hosse 2009). Muchos otros aspectos de la vida cotidiana de las comunidades rurales, especialmente de los pueblos indígenas, los cambios en el clima y su influencia en las cosechas, en la disponibilidad de agua y alimentos, entre otros, hacen parte fundamental de los conocimientos tradicionales.

4. Conclusiones

El conocimiento tradicional sobre el medio ambiente forma parte de los elementos que los agricultores emplean para la toma de decisiones en las actividades agrícolas, básicamente para minimizar riesgos y optimizar los recursos existentes.

Las comunidades han convertido las limitantes de un paisaje rugoso, la variabilidad de microclimas y suelos frágiles y las incertidumbres provenientes de un clima inestable en ventajas, gracias a un proceso civilizatorio que tiene varios miles de años.

El conocimiento del clima es diferenciado según los ámbitos en que se desarrollan las sociedades y las actividades económicas que las dinamizan, que las diferencian en la toma de decisiones ante los cambios o ciclos ambientales son localizados.

Las comunidades locales tienen diferentes percepciones e interpretaciones del comportamiento de los bioindicadores según los pisos ecológicos en que viven y construyen indicadores de prevención para reaccionar apropiadamente ante cambios climáticos extremos.

Los agricultores desarrollaron indicadores de observación e interpretación de su ambiente en función de las actividades económicas y representan la base de su economía.

Por la importancia de este conocimiento en su rol económico, constituye una tarea estratégica su sistematización, estandarización e institucionalización, como medio complementario a los sistemas científicos de medición e interpretación del clima.

Para los agricultores del altiplano la comprensión de los factores que indican los cambios en el clima desde siempre ha representado una ventaja competitiva para la toma de decisiones en la producción de alimentos, manejo de sus crianzas y uso de recursos naturales

Todos estos saberes les permitieron "conversar" con estos cambios del clima en base a la siembra de una mezcla de especies y variedades en cada de sus pequeñas, dispersas y múltiples parcelas, las cuales se sembraban observando en su entorno natural, las denominadas "señas".

El hecho de sembrar mezclas de especies y variedades de cultivo en cada parcela, hace, que en esta mezcla se encuentren unas variedades resistentes a excesos de lluvia y otras a deficiencia de agua (sequías), de tal manera que con esta sabiduría se tenía suficiente comida, a pesar de las sequías o demasiada lluvia, pues las variedades resistentes a sequías o mucha agua producían lo suficiente para vivir con bienestar cultural.

La milenaria cultura Andino - Amazónica cuyos saberes, en lo fundamental, se mantienen en las actuales comunidades campesinas y nativas, necesitan ser fortalecidos para que sirvan de base a las propuestas oficiales de adaptación al cambio climático. Pero no es suficiente recuperar y fortalecer estos saberes, si no se recupera y conserva también la gran diversidad y variabilidad de plantas de origen.

Ahora más que nunca necesitamos de esta rica diversidad para enfrentar estos momentos difíciles para los cuales "fueron hechas" y conservadas por los tatarabuelos de nuestros bisabuelos. No podemos asegurar nuestra seguridad alimentaria sin conservar nuestra gran agrobiodiversidad y sus saberes de cultivo.

Las familias perciben que las campañas agrícolas de los últimos tiempos se presentan con mayores incertidumbres. La insolación, la dirección y velocidad de los vientos han variado, y las precipitaciones pluviales son más intensas e irregulares dentro del jallupacha (periodo de lluvias). En los últimos tiempos las lluvias son más intensas y con tormentas eléctricas acompañadas de granizadas y escorrentías superficiales que provocan erosión laminar hasta ocasionar cárcavas.

En el presente reporte, se utilizó solo la variable de precipitación, pero como se observará, los indicadores locales tienen una alta correlación con este factor meteorológico. Hay que analizar por ejemplo el comportamiento de las temperaturas mínimas que provocan la ocurrencia de las heladas, para ello, también hay indicadores locales que pronostican heladas primaverales. También las temperaturas medias que generan las temperaturas óptimas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, estos se pueden relacionar con los indicadores locales. En los próximos trabajos se tendrán estos reportes.

5. Bibliografía

- Claverías, R. (s.f.). Conocimientos de los campesinos andinos sobre los predictores climáticos: elementos para su verificación. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED), Perú, 49 p.
- Cooperación Técnica Alemana, 2003. Proyecto "Gestión de Riesgos y Seguridad Alimentaria en la cuenca San Pedro del Norte de Potosí" Percepciones culturales sobre riesgo natural y relaciones de género en comunidades del extremo Norte de Potosí, Segundo informe. Cochabamba, Bolivia. 95 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (s.f.). Buenas prácticas de manejo de recursos naturales y fortalecimiento institucional para la reducción de riesgos y desastres en el contexto del cambio climático. Asistencia a los países andinos en la reducción de riesgos y desastres en el sector agropecuario.
- Programa de Suka Kollus (PROSUKO/UNAPA) 2006. Metodología de pequeños productores para mejorar la producción agrícola. Estrategias locales para la gestión de riesgos. Programa de integración de mecanismos de reducción de desastres y gestión de riesgos. La Paz, Bolivia. 60 p.
- Proyecto Andino de Tecnologías Campesinas (PRATEC), 2009. Cambio climático y sabiduría andino - amazónica. Prácticas, percepciones y adaptaciones indígenas, Perú. 178 p.
- Regalsky y Hosse, 2009. Estrategias campesinas andinas de reducción de riesgos climáticos. Estado del arte y avances de investigación en los Andes bolivianos, Cochabamba, Bolivia. 64 p.
- Miranda et al., 2009. Conocimiento tradicional sobre predictores climáticos en la agricultura de los llanos de Serdán, Puebla, México. En revista, Tropical and Subtropical Agroecosystems. Colegio de Postgraduados en Ciencia Agrícolas - Campus-Puebla. Km. 125.5, carretera Federal México, p. 151-160.
- Ulloa, et al., 2008. Mujeres indígenas y cambio climático. Perspectivas latinoamericanas. UNAL-Fundación Natura de Colombia-UNODC. Bogotá, p. 37.
- Torres, F., 2006. Indicadores biológicos y ambientales abióticos predictores de clima en la subcuenca Yapatera, distrito de Frías, Ayabaca - Piura, Puno, Perú.

EFFECTO DE LA ORINA HUMANA FERMENTADA EN EL RENDIMIENTO DE LA LECHUGA WALDMAN GREEN (*Lactuca sativa* L.)

Effect of cultured humana urine in the performance of waldman green lettuce (*Lactuca sativa* L.)

Mamani, V.¹; Coronel, L.²

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

¹ Investigador de la carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

² Docente de la materia de Dasonomía y Silvicultura y especialista en Etnoclimatología, carrera de Ingeniería Agronómica, UPEA

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstrac

The objective was to evaluate the response of growing lettuce, variety Waldman Green, to the application of fermented human urine at different times. Urine was obtained from ecological toilets in the 7th district of El Alto municipality. These exudates, fermentation took during different times: 3 months, 6 months and 12 months, in order to eliminate the possible presence of pathogens. The treatments were: T-1, with no urine; T-2, three months of fermentation, T-3 six months of fermentations and T-4 twelve months of fermentation. The highest value obtained was 14.75 cm plant height, which corresponds to T-3 treatment and the control (T-1) reached 17.71 cm, plant height. The T-3 applied with six months of obtained a performance of 5.52 kg·m². This result could be due to the high concentration of nitrogen that has human urine and the witness presented a performance of 3.04 kg·m². Likewise, we realize product compositional analysis to evaluate the presence of potential pathogens and according to the results did not present infestation of pathogens such as *Escherichia coli* and *Salmonella*. It is therefore suitable for human consumption without presenting health risk.

Keyword: Lettuce, human urine, fertilizante.

El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta del cultivo de lechuga, variedad Waldman Green, a la aplicación de orina humana fermentada en diferentes tiempos. La orina se obtuvo a partir de los baños ecológicos del distrito 7 del municipio de El Alto. Estos exudados, se llevó a la fermentación durante diferentes tiempos: 3 meses, 6 meses y 12 meses, con la finalidad de eliminar los posibles patógenos presentes. Los tratamientos aplicados fueron: T-1, sin orina; T-2, tres meses de fermentación; T-3, seis meses de fermentación y T-4 doce meses de fermentación. El valor más alto obtenido fue de 14.75 cm de altura de planta, que corresponde al tratamiento T-3 y el testigo (T-1) que alcanzó 17.71 cm de altura de planta. El T3, aplicado con 6 meses de fermentación se obtuvo un rendimiento de 5.52 kg·m². Este resultado podría deberse a la alta concentración de nitrógeno que tiene la orina humana y el testigo presentó un rendimiento de 3.04 kg·m². Así mismo, se realizó el análisis bromatológico del producto para evidenciar la presencia de posibles patógenos y según los resultados no presentó infestación de los patógenos como la *Escherichia coli* y la *Salmonella*. Por tanto, es apto para el consumo humano sin presentar riesgo para la salud.

Palabras claves: Lechuga, orina humana, fertilizante.

1. Introducción

La presente investigación reporta el uso de la orina humana como fertilizante líquido para la producción de hortalizas de hoja a nivel familiar. Se utiliza en muchas partes del mundo, con resultados muy interesantes que permiten mejorar la producción y reducir la contaminación ambiental. Contiene mayoría de los nutrientes excretados; aproximadamente 85-90% de nitrógeno (N), 50-80% de fósforo (P) y 80-90% de potasio (K) (Kirchman y Pettersson 1995, citado por Hernández 2013), por lo tanto se puede esperar una concentración de 3 a 7 gramos de nitrógeno por litro de orina.

Contiene gran cantidad de nutrimentos en forma iónica, por lo que se ha utilizado en la fertilización de algunos cultivos (Kirchman & Pettersson 1995; Heinonen & Wijk 2005; Pradhan et al. 2007; 2009; Mnkeni et al. 2008, citado por Preciado-Rangel et al. 2010). Es un fertilizante líquido bien equilibrado de acción rápida rico en nitrógeno. El contenido de nutrientes en la orina depende de la dieta alimenticia (Richert A. et al. 2011). La orina humana es una mezcla de más de 200 compuestos, que incluyen electrolitos, nitrógeno, fósforo, compuestos de azufre, vitaminas, ácidos orgánicos y otros compuestos orgánicos e inorgánicos (Hernández 2013). Fue propuesta para ser utilizada como una solución nutritiva alternativa al uso convencional de fertilizantes y soluciones nutritivas inorgánicas. Sin embargo, estudios precedentes han señalado que requiere un acondicionamiento previo para disminuir el pH y la salinidad elevada (Preciado-Rangel et al. 2010).

Las zonas periurbanas de la ciudad de El Alto, carecen del sistema del saneamiento básico, para eliminar las excretas humanas, lo que genera problemas medio ambientales afectando a la salud de las personas. Aunque se implementara un sistema de saneamiento, carecería de funcionalidad, porque tampoco tienen una cobertura permanente de agua,

que permita hacer uso eficiente del sistema de saneamiento.

Ante esta situación, la fundación Sumaj Huasi en coordinación con otras instituciones, implemento el sistema de saneamiento denominado "Baños ecológicos secos", un sistema que no requiere el uso del agua para evacuar las excretas humanas. En este sistema, las excretas humanas (orina y heces) son depositadas en contenedores que son parte del sistema de saneamiento seco.

En ese contexto, el trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de la orina humana fermentada en el rendimiento de la lechuga Waldman green, a nivel familiar, planteándose los siguientes objetivos específicos: i). Evaluar la calidad de la orina humana fermentada en diferentes tiempos para su uso como fertilizante, ii). Determinar el efecto de la aplicación de la orina fermentada sobre el rendimiento y calidad de la lechuga, iii). Evaluar el costo-beneficio parcial de producción de la lechuga.

2. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en los invernaderos de la Fundación Sumaj Huasi, ubicado en la zona San Roque - Villandrani, municipio de El Alto, a 16 km al este de la ciudad de La Paz; entre 16° 28' 60" latitud sur y 68° 17' 06" longitud oeste, a una altitud de 3961 msnm.

Recolección y manejo de la orina

La orina fue recolectada de los baños secos familiares en contenedores plásticos de color amarillo de 20 litros de capacidad. Luego transportada al depósito, en donde se almacenó en contenedores de 5000 litros de capacidad, de color oscuro bajo sombra y cerrado herméticamente para evitar la volatilización del nitrógeno.

Una vez recolectada se procedió con el proceso de fermentación, en tanques de 5000 litros de

color oscuro, protegiendo de la insolación (bajo sombra), con la finalidad de eliminar la presencia de algunos patógenos (*Escherichia coli* y la *Salmonella*) en la orina. Para minimizar riesgos potenciales en la salud humana se recomienda su almacenamiento durante seis meses (Jönsson et al. 2004, citado por Preciado-Rangel et al. 2010). Durante este tiempo, la hidrólisis de la urea, el contenido de amonio, la temperatura y el incremento del pH en la orina eliminan microorganismos patógenos y se disminuye el riesgo de infecciones virales (Höoglund et al. 1998, citado por Preciado-Rangel et al. 2010). Este sistema consiste en separar la orina desde el origen (desviación de orina), colectarla en depósitos de mayor tamaño y almacenarla por varios meses. Para Hernández (2013) el almacenamiento tiene efecto inactivador en los patógenos, prolongar el almacenamiento es a menudo sugerido, siendo un adecuado método de higienización por lo que después de recibir este tratamiento se obtiene un fertilizante a base de orina de alta calidad. El procedimiento se muestra en anexo (Foto 1).

Los tiempos de fermentación que se procedieron, son los que a continuación se detallan:

- Tres meses de fermentación
- Seis meses de fermentación
- Doce meses de fermentación

El proceso de fermentación varía en tiempos (periodo), mientras las condiciones ambientales (temperatura, humedad, insolación), fueron los mismos para cada tiempo de fermentación.

Análisis químico y bacteriológico de la orina

Antes de su aplicación como fertilizante líquido en el cultivo de referencia, se realizó el análisis de la orina fermentada en diferentes tiempos, con la finalidad de verificar el contenido de micro y macro elementos. También se realizó análisis bacteriológicos de la orina humana fermentada para verificar la presencia de bacterias. La orina

se ha utilizado para producir hortalizas como col y tomate y no existe peligro de contaminación microbiológica en los frutos cuando la orina es aplicada al suelo (Pradhan et al. 2007; 2009, citado por Preciado-Rangel et al. 2010).

Preparación del sustrato y aplicación de la orina

Para los tratamientos, se utilizó una relación de mezcla de: 5:3:2; 50% de tierra negra, 30% de turba y 20% de arena fina. Posteriormente se mezcló el sustrato para ser aplicado con la orina humana fermentada, de acuerdo a las combinaciones determinadas.

La primera fertilización se realizó antes de trasplante de la lechuga, con una solución (concentración) de 1:4; 1 litro de orina fermentada en diferentes tiempos, en 4 litros de agua, para diferentes tratamientos de estudio.

La segunda y la tercera fertilización líquida, se realizó cada 15 días. Esta aplicación se hizo directamente sobre la superficie del suelo, cerca del cuello de la planta, con una combinación de 1 litro de orina fermentada en 4 litros de agua por 1m².

Para determinar la variabilidad (efecto en el cultivo) por la aplicación de los tratamientos, se utilizó el diseño completamente al azar, con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Las variables de respuestas estudiadas fueron: altura de la planta (cm), número de hojas, longitud de la hoja (cm), ancho de la hoja (cm), longitud de la raíz (cm), rendimiento de lechuga (kg·m²) y el análisis económico.

Para determinar la altura de la planta, se realizó la medición de 6 plantas al azar por unidad experimental, tomando en cuenta la longitud desde el cuello de la planta, hasta el ápice de la hoja superior, utilizando una regla graduada en milímetros. Para la evaluación del número de hojas, se tomaron 6 plantas al azar por tratamiento. También se hizo la medición

del ancho de la hoja, tomando en cuenta las hojas basales. Para determinar el rendimiento de la lechuga, se cosecho las mismas y se pesó las muestras de cada tratamiento, luego, transformar en kilogramos por metro cuadrado.

3. Resultados y discusión

Los invernaderos presentaron fluctuaciones micro climáticas, de acuerdo a las horas luz del día. Las variables evaluadas fueron: temperatura y humedad al interior del ambiente, entendiendo que estas variables interactúan directamente con el crecimiento y desarrollo de un determinado cultivo, sin dejar de considerar las otras variables. El comportamiento de las variables se presenta en la siguiente figura.

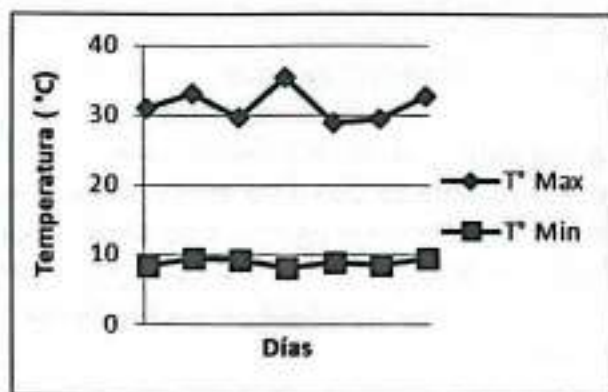


Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas en el interior del ambiente durante el desarrollo del cultivo

Las temperaturas: máxima y mínima durante el desarrollo del cultivo fueron homogéneas, obteniéndose como promedio de 31.48 °C y una mínima de 8.87 °C. Estos rangos y variaciones en temperatura, no afectaron al crecimiento y desarrollo del cultivo, porque, no se observaron

alteraciones morfológicas, ni deficiencias visibles en las plantas. Al respecto, Sánchez (2004) señala que la temperatura óptima en la que desarrolla la lechuga, está entre 19 a 20 °C y tolera una máxima de 30°C y una mínima de -5 °C. De acuerdo a esta aseveración, lo registrado en el periodo del cultivo, estuvo dentro de los rangos.

Humedad relativa

Para determinar este parámetro en el interior del ambiente, se utilizó un higrómetro analógico tipo reloj; los datos que registra este instrumento son de lectura directa. El comportamiento de esta variable se aprecia en la figura 3, registrándose fluctuaciones diarias sin muchas variaciones, durante el periodo del experimento; alcanzando una máxima de 84% y mínima de 49.5 % de humedad relativa. La mayor humedad relativa se registró por las mañanas (8 a 10 horas) y las mínimas a partir de horas 14:00 pm.

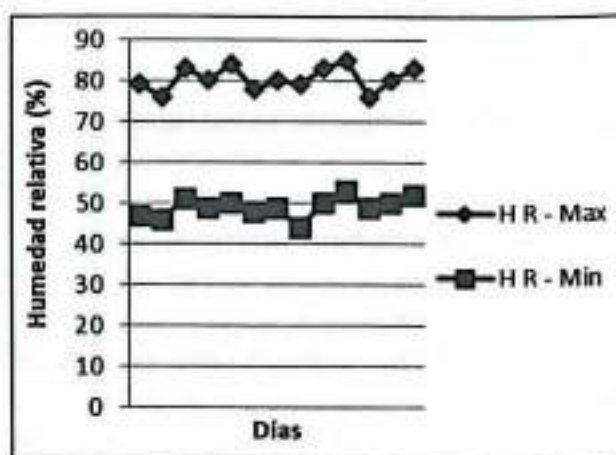


Figura 2. Comportamiento de la humedad relativa al interior del ambiente protegido.

Al respecto, Vigliola (2005) señala que el cultivo de lechuga se desarrolla bien en ambientes con humedad relativa entre 60 y 80%; mayores o inferiores a estos valores, suelen alterar el crecimiento y desarrollo del cultivo; favorecen la proliferación y el ataque de enfermedades y plagas a los cultivos, cuando supera el 80% de humedad.

Composición de la orina fermentada

Los resultados de la composición de la orina humana fermentada en diferentes tiempos se presenta en la Tabla 1:

Tabla 1. Análisis de la orina humana fermentada en diferentes tiempos.

Parámetro	Unidad	3 Meses	6 Meses	12 Meses
pH		9.4	9.1	9.3
Conductividad eléctrica	mS*cm	44	42	45
Fósforo total	Pmg* l^{-1}	311	322	5214
Nitrógeno total	mg* l^{-1}	440	4026	313
Sodio	mg* l^{-1}	3464	3656	3830
Potasio	mg* l^{-1}	1870	1845	1894
Calcio	mg* l^{-1}	3.7	2.7	1.3
Magnesio	mg* l^{-1}	0.42	0.52	0.29

Fuente: Instituto de Ecología, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Universidad Mayor de San Andrés 2011. Por encargo de Fundación Sumaj Huasi.

De la lectura de los resultados, con respecto a la presencia del nitrógeno se puede apreciar que, la fermentación durante 6 meses, presentó mayor contenido de nitrógeno total, con 4026 mg* l^{-1} ; la orina fermentada durante 3 meses, presentó un nitrógeno total de 440 mg* l^{-1} y la orina fermentada durante 12 meses, presentó un nitrógeno total de 313 mg* l^{-1} ; existe una disminución en la concentración del nitrógeno, debido probablemente a la volatilización por el tiempo de fermentación. El nitrógeno excretado aparece en forma orgánica como urea [CO(NH₂)₂] y el resto como creatinina, aminoácidos y ácido úrico que posteriormente se transforma en amoníaco (Ganrot 2005, citado por Hernández 2013). En cuanto al contenido de fósforo (F) y potasio (K): la orina fermentada durante 3 meses presentó 311 mg* l^{-1} de fósforo y 1870 mg* l^{-1} de potasio; la orina que se fermentó durante 6 meses, presentó un contenido de fósforo de 322 mg* l^{-1} y 1845 mg* l^{-1} de potasio y la fermentación durante 12 meses presentó 5214 mg* l^{-1} de fósforo y 1894 mg* l^{-1} de potasio.

Al respecto, Preciado-Rangel et al. (2010) presentaron análisis químicos de la orina cuyos resultados indicaron concentraciones de 6.83, 0.18, 2.45, 0.08, 0.2 y 3.43 g* l^{-1} de N, P, K, Ca, Mg y Na, respectivamente. No se detectaron bacterias aerobias. Cuando la orina humana es usada como un fertilizante el riesgo de una deficiencia de micronutrientes es mínimo ya que la excreta contiene todos los micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (Karak & Bhattacharyya 2011, citada por Hernández, 2013). La urea es el principal componente de nitrógeno presente en la orina humana (Helvi Heinonen-Tanski, Annalena Sjöblom, Helena Fabritius, Päivi Karinen, 2005). La orina humana almacenada tuvo valores de pH de 8.9 y se compone de ocho principales especies iónicas (> 0.1 meq* l^{-1}), los cationes Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺ y los aniones, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻ y HCO₃⁻ (Sene et al. 2012; Johansson y Nykvist 2001, citado por Songthanasak, Klongtroujrok, Swattdipat, Sumphunprateep, and Lawchod 2012).

Altura de planta

El análisis de varianza para variable altura de la planta con la fertilización de orina, presentó diferencias significativas con los diferentes tiempos de fermentación de la orina humana. El análisis se presenta en la Tabla 2:

Tabla 2. Análisis de varianza para altura planta (cm)

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Trat.	3	95.61	31.81	9.25	0.0019**
Error	12	14.33	3.44		
TOTAL	15	136.95			

C.V. = 13,08%

El análisis de varianza con respecto a la altura de la planta, presenta diferencias altamente significativas para los tratamientos en estudio con diferentes tiempos de fermentación de la orina humana. Asimismo, muestra un coeficiente de variación de 13.08% de confiabilidad.

De acuerdo al análisis del ANVA se observa que F calculado es de 9.25 que es mayor al F tabulado de 0.0019. Por tanto, la diferencia de altura de planta entre tratamiento, es altamente significativa.

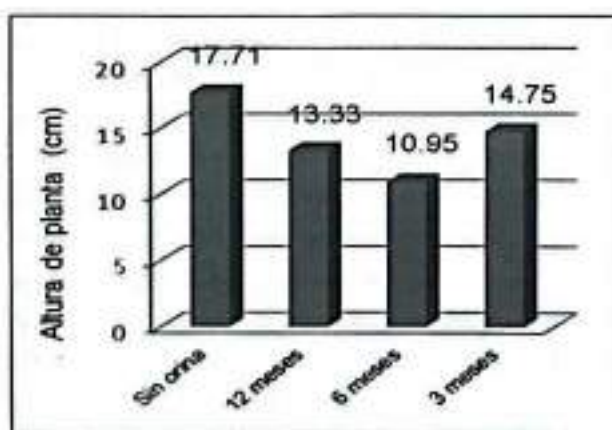


Figura 3. Altura de planta con la aplicación de Orina fermentada en diferentes tiempos.

El análisis de la prueba de Duncan al $\alpha = 0.05$ de probabilidad (Figura 3) muestran la formación de tres categorías diferentes: sin orina, se obtuvo un promedio de altura de 17.71 cm, con respecto a los tratamientos. Por otro lado, la fertilización con 3 y 12 meses de fermentación, se obtuvo similares resultados, en cuanto a la altura de planta, y con 6 meses de fermentación presentó menor altura.

La diferencia en altura de la planta se atribuye a la dosificación en mayor cantidad de orina, lo que provocó la saturación de nitrógeno, causando un retraso en el acogollamiento de la planta. Al respecto, Baca, et al. (2000) señalan que el nitrógeno es un constituyente esencial de moléculas fundamentales de todos los seres vivos: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, etc. Para que el N_2 pueda ser asimilado, es necesario que sea reducido. Los únicos seres vivos capaces de realizar esta reacción son las Eubacteria y Archaea, por el proceso denominado fijación biológica de nitrógeno (FBN). Ibáñez (2004) señala que el crecimiento es un proceso fisiológico muy complicado y depende de la mayoría de los otros procesos que tienen lugar en una planta, como la fotosíntesis, reparación absorción de agua sustancias minerales.

Ancho de hoja

El análisis de varianza para el ancho de la hoja presentó diferencias no significativas, con la aplicación de la orina fermentada en diferentes tiempos, en el cultivo de lechuga.

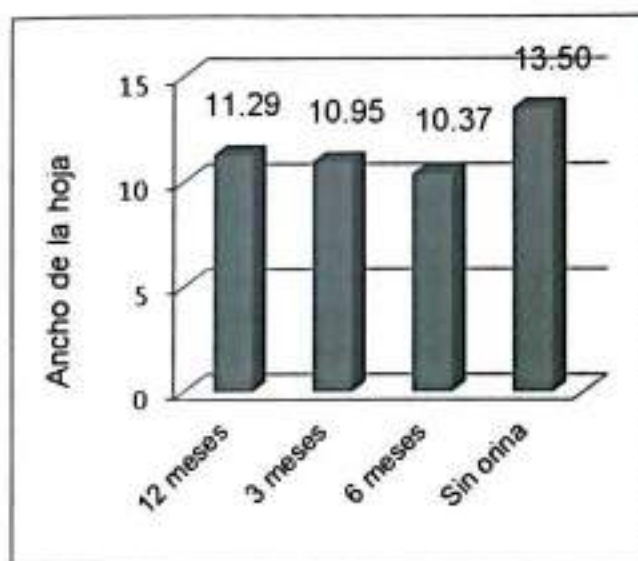


Figura 5. Ancho de hoja con la aplicación de orina fermentada en diferentes tiempos.

Tabla 3. Análisis de varianza ancho de hoja.

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Trat.	3	20.40	7.46	2.53	0.10 NS
Error	12	35.42	2.95		
TOTAL	15	57.83			

C.V. = 14.90%

El análisis de varianza para el ancho de hoja (Tabla 3), muestra no significativa para los tratamientos en estudio con diferentes tiempos de fermentación. Asimismo, muestra un coeficiente de variación de 14.90% de valor de confiabilidad y un F calculado de 2.53 y F tabulado de 0.10.

El análisis de la prueba de Duncan al $\alpha = 0.05$ de probabilidad, fue de 13.50 cm, siendo superior al resto de los tratamientos. Por tanto, con la fertilización de 3 y 12 meses de fermentación, son similares en cuanto al ancho de hoja, con valores de 11.29 y 10.95 cm y 6 meses de fermentación presentó 10.37 cm de ancho respectivamente. La diferencia que existe en el desarrollo del ancho de hoja, es probablemente, por la mayor concentración de nitrógeno en la orina, influyendo en el crecimiento lento de la planta. Al respecto, Rodríguez (1991) señala que existen diferencias en ancho de la hoja, al

aplicar diferentes niveles y fermentación de la orina humana, lo que influye en el crecimiento heterogéneo de la planta. De acuerdo con Tester & Davenport (2003), citado por Preciado-Rangel et al. (2010) señalan que la acumulación de sales en el sustrato afecta más la parte aérea que la radical de las plántulas, De Pascale et al. (2003) mencionan que salinidad causa un celular, lo que ocasionó un estrés osmótico en la planta, lo que implica un mayor gasto energético disminuyendo la expansión disminución en las variables analizadas. La utilización de dosis altas de orina originaron una elevación de la CE del sustrato, acumulación de sodio en los tejidos de la plántula y una disminución en el crecimiento de la misma (Preciado-Rangel et al. 2010).

Longitud de la hoja

Los resultados del análisis de varianza para la longitud de la hoja muestran diferencias significativas.

Tabla 4. Análisis varianza, longitud de la hoja

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Trat.	3	36.73	12.24	4.03	0.033*
Error	12	36.44	3.03		
TOTAL	15	73.18			

C.V. = 13.96%

El coeficiente de variación de 13.96% obtenido en los tratamientos evaluados con respecto a la longitud de la hoja, se encuentra dentro del rango de los datos confiables.

De acuerdo al ANVA (Tabla 4) se observa que el F calculado es de 4.03 y el F tabulado es de 0.033 lo que indica que existe significancia entre los tratamiento. La diferencia que existe en el desarrollo de la longitud de las hojas se debe por la saturación de nitrógeno de orina humana fermentada, lo que dificultaría la asimilación de otros elementos.

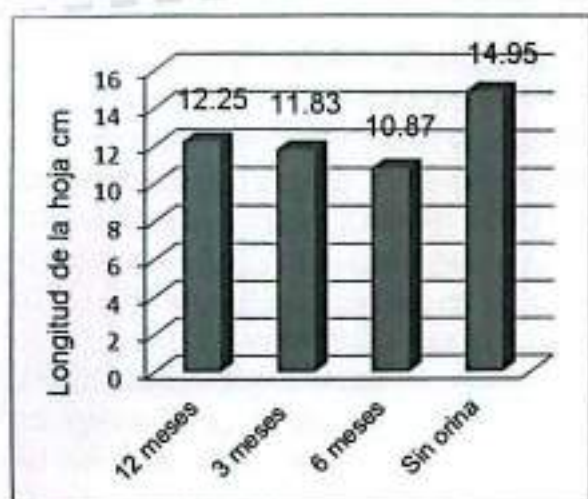


Figura 6. Longitud de hoja con la aplicación de orina fermentada en diferentes tiempos.

Con respecto a la longitud de la hoja, la prueba Duncan al $\alpha = 0.05$ (Figura 6), se muestra que tratamiento sin orina registró el mayor promedio de desarrollo con 14.95 cm y con la aplicación de orina de 12 meses de fermentación se obtuvo 12.25 cm de longitud.

Al respecto, Serrano (2006) señala que existen diferencias en longitud de la hoja, al aplicar diferentes niveles de fermentación de la orina, el cual presenta con mayor dosis de fertilización orgánica líquido en las plantas de hoja. Por otra parte, Oviedo (2001) menciona que el desarrollo de los cultivos requiere ciertos nutrientes para su mayor crecimiento y desarrollo de las plantas.

Número de hoja por planta

Los resultados del análisis de varianza para el número de hojas registran diferencias no significativas como se muestra en Tabla 5, de los diferentes tiempos de fermentación de la orina humana.

Tabla 5. Análisis de varianza para número de hojas

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Trat.	3	26.06	8.68	2.72	0.910 NS
Error	12	38.31	3.19		
TOTAL	15	64.37			

C.V. = 15.58 %

El coeficiente de variación obtenida fue de 15.58 %, indica que los datos obtenidos son confiables a los resultados de la evaluación de los tratamientos.

El ANVA para F calculada es 2.72 y el F tabulado de 0.910, lo que indica que no existe significancia entre los tratamientos con la fertilización con la orina fermentada.

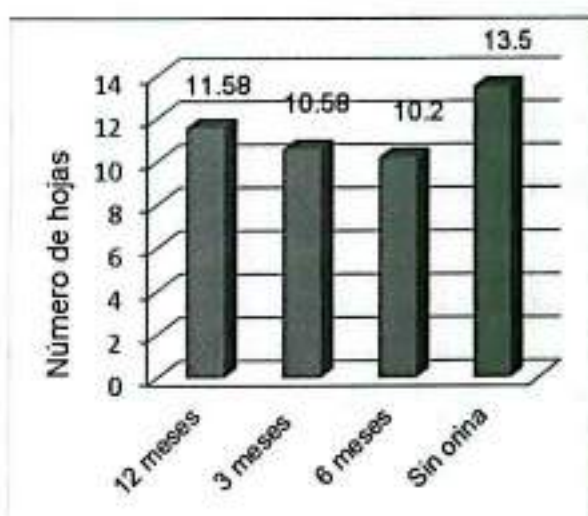


Figura 7. Número de hojas con la aplicación de orina humana fermentada en diferentes tiempos.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de la prueba de Duncan al $\alpha = 0.05$, señala que, en el testigo se obtuvo 13.50; con aplicación de 12 meses de fermentación se tuvo 11.58 hojas. Por tanto, la saturación de nitrógeno de la orina, influye en el crecimiento y desarrollo lento de la planta. Al respecto, Guerrero (2006) comenta que el nitrógeno es un elemento muy importante, ya que interviene en la absorción iónica, fotosíntesis, respiración, multiplicación y diferenciación celular, es la que estimula el aumento del número y tamaño de las células foliares, determinando así el crecimiento vegetativo y productivo. La deficiencia de fósforo en la lechuga provoca coloración verde oscuro, y se reduce el desarrollo, las hojas adquieren un aspecto bronceado; en los casos más acusados, las plantas no logran acogerse (Díaz 1998).

Longitud de la raíz

El análisis de varianza para la longitud de la raíz, se muestra en la tabla 6. Los valores son altamente significativos entre los tratamientos con la fertilización de orina fermentada.

Tabla 6. Análisis varianza para el diámetro de la raíz

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Trat.	3	2.13	0.71	0.47	0.70
Error	12	18.01	1.50		NS
TOTAL	15	20.14			

C.V. = 2.72%

A través del análisis de varianza, se obtuvo un coeficiente de variación de 2.72%, el valor obtenido está en el rango de confiabilidad. También se observa, que F calculado es de 0.47, que es menor al F tabulada de 0.70.

La prueba de Duncan al 5%, presentó diferencias significativas. En cuanto a la longitud de raíz, sin la aplicación de la orina se tuvo 49.25 cm; con aplicación de 6 meses de fermentación se tuvo 48.02 cm. Al respecto, Díaz (2001) indica que existe diferencias entre la longitud de la raíz principal y raíces laterales, por efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización de orina humana

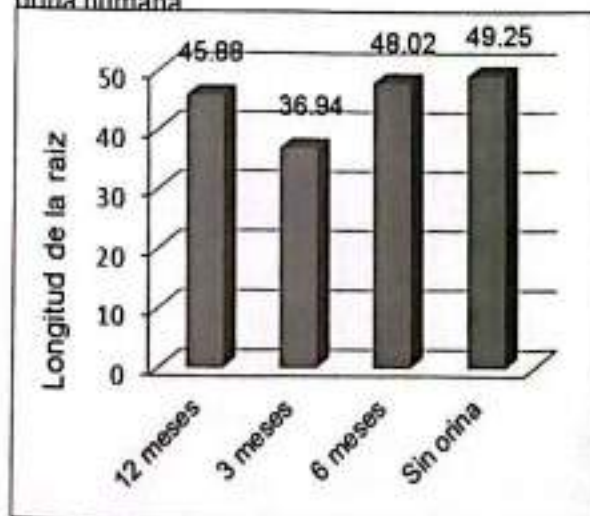


Figura 8. Longitud de la raíz con la aplicación de orina fermentada en diversos tiempos.

Cruz (2004) señala que la longitud de raíz no excede más de 0.35 m de profundidad en el cultivo de lechuga, para la cosecha adecuada. Por su parte, Guerrero (2006) argumenta que el mayor o menor longitud de raíz está en función a disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

Rendimiento del cultivo de lechuga

Tabla 7, se presenta análisis del rendimiento del cultivo de lechuga

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F
Trat.	3	1.93	0.64	6.5	0.0073
Error	12	1.19	0.09		
TOTAL	15	3.12			

C.V. = 9.00%

El coeficiente de variación fue de 9%, que muestra una alta confiabilidad de los resultados obtenidos sobre el rendimiento.

Presenta diferencias no significativas para los tratamientos en estudio (niveles de fertilización). Por tanto, influyó la mayor concentración de nitrógeno en la orina fermentada.

De acuerdo al ANVA (Tabla 7), se muestra que F calculada de 6.5 es mayor al F tabulada de 0.0073, por tanto, en el rendimiento influyó los diferentes tratamiento aplicados con la orina fermentada.

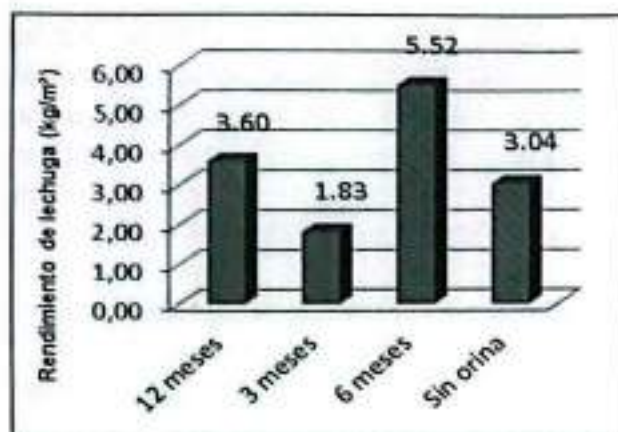


Figura 9. Rendimiento de lechuga con la aplicación de orina humana fermentada en diferentes tiempos.

El análisis de la prueba de Duncan al $\alpha = 0.05$, presenta diferencias estadísticas en cuanto al rendimiento de la lechuga (Figura 9). Al respecto, Hartmann (2003) señala que el objetivo esencial de la fertilización orgánico líquido es asegurar la continuidad de la nutrición nitrogenada a los cultivos, más aun, la lechuga que es una hortaliza de hoja. Por su parte Marín (2006) indica las fluctuaciones en cuanto al rendimiento, son debidas a los efectos beneficiosos de los distintos abonos orgánicos, los cuales aportan los macro y micronutrientes a los cultivos.

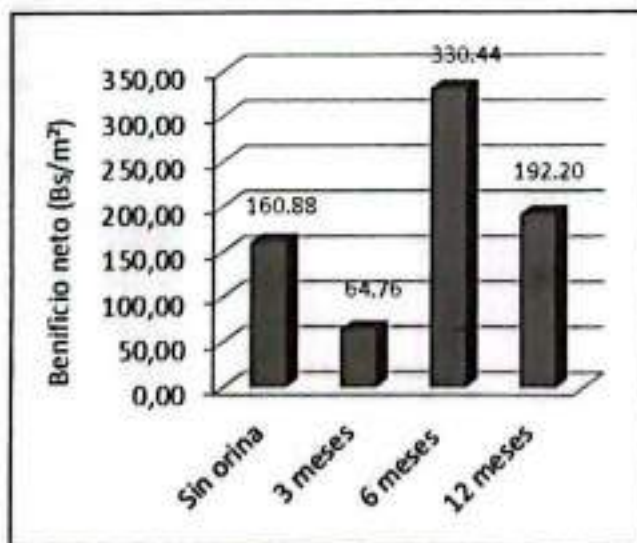


Figura 10. Ingreso neto con aplicación de orina fermentada en diferentes tiempos.

De acuerdo a la figura 10, se obtuvo mayores ingresos netos con la aplicación de 6 meses de fermentación, llegando a Bs. 330.44 por tratamiento; seguido con fertilización de 12 meses de fermentación, obteniéndose Bs. 192.20 por tratamiento. Por otro lado, con el testigo se tuvo Bs. 160.88 por tratamiento y finalmente, con aplicación de 3 meses de fermentación, se obtuvo un ingreso de Bs. 64.76 por tratamiento.

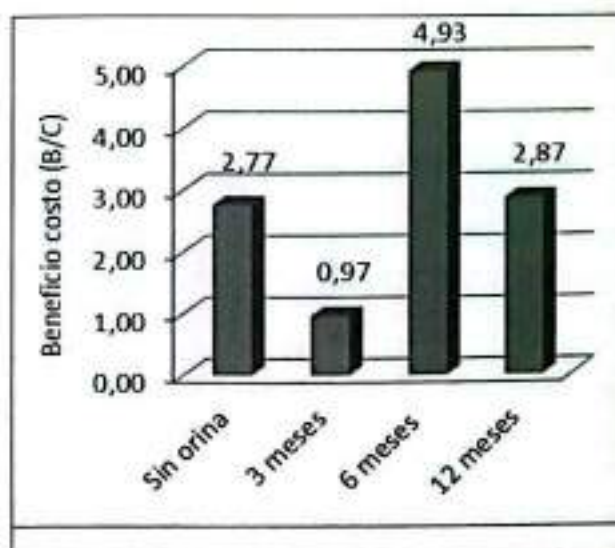


Figura 11. Relación beneficio costo con aplicación de orina fermentada en diferentes tiempos.

Se muestra en la Figura 11, la relación Beneficio - Costo (B/C), obteniéndose una rentabilidad con aplicación de orina humana de 6 meses de fermentación, con beneficio/costo de Bs. 4.93, lo que significa que este tratamiento es bastante rentable, por tanto, se puede recomendar su aplicación en el cultivo.

En el testigo se tuvo un beneficio - costo de 2.77; por otro lado, el tratamiento 4 con aplicación de 12 meses de orina fermentada se obtuvo 2.87; la aplicación de 3 meses de fermentación, mostró menor beneficio costo. Tampoco, existe ganancia en la producción en el tratamiento 2.

4. Conclusiones

Con aplicación de tres meses de fermentación, la planta alcanzó 14.75 cm; el testigo alcanzó 17.71 cm. Por tanto, la fertilización se debe aplicar en la tercera fase (en la formación de cogollo). En esta fase requiere mayor nitrógeno el cultivo de lechuga para su desarrollo.

Con respecto al ancho de hoja, se tuvo 11.29 cm, con el tratamiento 4, con fertilización de 12 meses de fermentación. El tratamiento sin fertilización con orina alcanzó un promedio de 13.50 cm, lo que indica que la fertilización se debe practicar en la tercera fase, en la formación de cogollo, para su desarrollo óptimo.

La longitud de hoja es un factor importante para determinar el área foliar. El tratamiento 4, llegó a un promedio de 12.25 cm, con respecto del tratamiento sin orina, con un promedio de 14.95 cm.

En cuanto al número de hojas por planta, el mayor número de hojas registró el tratamiento 1, con 13.50 hojas. Con fertilización de 12 meses de fermentación se tuvo 11.58 hojas.

El tratamiento 3 con la fertilización de 6 meses de fermentación, se obtuvo un rendimiento promedio de 5.52 kg·m² y en el testigo, se obtuvo menor rendimiento, con 3.04 kg·m².

El análisis bromatológico realizada a las lechugas cosechadas, no se encontró patógenos de ninguna naturaleza, lo que en conclusión, indica que, es completamente inocuo y apto para el consumo humano.

De acuerdo al análisis económico realizado, la aplicación con 6 meses de fermentación presentó un beneficio costo de 4.93, y un ingreso neto de Bs. 330.44 por tratamiento, lo que indica que existe ganancia económica al realizar esta práctica utilizando el fertilizante líquido orgánico.

5. Agradecimiento

A la Fundación Sumaj Huasi, quien apoyo y auspicio la realización del trabajo de investigación.

6. Referencias bibliográficas

- Cruz, D. 2004. Efecto de abonos Orgánicos líquidos sobre variedades de lechuga La Paz - Bolivia.
- Cedefoa, 2002. Manual carpas solares, técnicas de construcción, La Paz, Bolivia. p 75.
- Díaz, R. 1998. Aplicación fraccionada de nitrógeno en tres densidades de plantación de lechuga bajo carpa solar. p 70 - 72.
- Fernández, G. 2005. Capacidad germinativa en especies hortalizas anuales mediante uso de diferentes fertilizantes orgánicos. p 55.
- Hernández, A. S. 2013. Manual técnico operativo para el uso de la orina humana en la producción de alimentos en la agricultura familiar. Reporte técnico. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana, México. 80 p.
- Guerrero, J. 2006. Abonos orgánicos en tecnología para el manejo ecológico del suelo. Lima Perú. p 42.
- Hartmann, F. 2003. Invernaderos y ambientes atemperados. FADES. Ed. CECIM. La Paz, Bolivia. p 127.
- Marín, M. 2006. Recolección, tratamiento y aplicación de la orina humana en las plantas para su producción de rendimientos, México. p 67.

Oviedo, E. 2001. Cultivo de hortalizas en ambiente atemperado Lima Perú. p 23 – 25.

Preciado-Rangel et al. 2010. Evaluación de la orina humana como fuente de nutrientes en la producción de plántulas de tomate. En revista Universidad y Ciencia. Instituto Tecnológico de Torreón. DEPI. km 7.5 Carretera Torreón - San Pedro, Ejido Ana. Torreón 27190 Coahuila. México. 8 p.

Perrin, et al. 1982. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos publicado por CIMMYT. Programa de economía México.

Rodríguez, J. 1991. Métodos de investigación pecuaria. Trillas México. p 146 – 153.

Serrano, Z. 2006. Cultivo de hortalizas en invernadero Editorial Barcelona. Barcelona España. p 33 – 37.

Sánchez, C. 2004. Abonos orgánicos y lombricultura. Edición Ripalme, Lima, Perú.

Songthanasak, K., Klongtroujrok, C., Swattdipat, Y., Sumphunprateep, S. and Lawchod, T. 2012. Preliminary study on urine-compost extract as bio-liquid fertiliser for hidroponics. 4th International dry toilet conference. Environmental Technology Division, Agro-Industrial Technology Department, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand. 7 p.

Anexos



Foto 1. Fermentación de la orina humana



Foto 2. Mezcla de fertilizante (1:4) para m²

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL BIOL SOBRE CATORCE ACCESIONES DE PAPA NATIVA (*Solanum sp.*)

Evaluation of biol's effect on fourteen accession of native potato

Condori, P.¹; Sainz, H.²; Guzmán, J.³

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

¹ Investigador carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

² Docente de Edafología, carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto (Doctor en Suelos, Universidad de Almería, España)

³ Docente de Diseños Experimentales II, carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

In Bolivia, the production of potato is characterized for autosubsistence agriculture and little diversified. Great part of the farmers own small properties for growing potato, usually they are placed in small areas with annual rotation. As a traditional practice, they add manure as it becomes a way to reach a sustainable practice. With the objective to compare and characterize native potato entries coming from the germplasm bank of agronomy career of UPEA, a study was carried out to compare the performance of potato entries along with the application of Biol a complete block design with three reps was used. Entries named as: Polo, Sacampaya, Sani-Imilla, Janq'ochoque, Bola runa, Q'aysalla and Laramq'aysa had good performance in leaf area compared to others. The positive effect of Biol over the performance of yield is represented by $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ with an application of 25% of Biol.

Keywords: Organic agricultural, accessions, biol.

Resumen

En Bolivia la producción de papa, se caracteriza por una agricultura extensiva en mantas de auto subsistencia y menos diversificada; la mayoría de los productores poseen pequeñas propiedades para el cultivo de papa que anualmente van rotando. Como práctica tradicional, el abonado orgánico con estiércoles de animales es muy importante y la necesidad del rescate de este tipo de agricultura orgánica se constituirse una de las necesidades estratégicas para garantizar la sostenibilidad agrícola. Con el objetivo de comparar y caracterizar accesiones de papa nativa de la colección del germoplasma de la carrera de Ingeniería Agronómica, se llevó un estudio aplicando, el diseño experimental de Diseño de Bloques Completamente al Azar con tres repeticiones para cada accesión, con un segundo factor que es la dosis del Biol. Las accesiones Polo, Sacampaya, Sani imilla, Janq'o choque, Bola runa, Q'aysalla y Laramq'aysa, obtuvieron mayor desarrollo en cuanto al área foliar en comparación a las restantes. El efecto positivo del Biol sobre el rendimiento de tubérculos presentó un rendimiento de $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ en una relación de aplicación al 25%.

Palabras claves: Agricultura orgánica, accesiones, biol.

1. Introducción

La papa constituye en la actualidad uno de los más importantes productos alimentarios a nivel mundial, excluyendo a los cereales, ocupa el primer lugar en producción, alcanzando cifras sin precedentes de 325.3 millones de toneladas en 2007 (CIP 2008).

En el contexto regional, Bolivia y Perú comparten el privilegio de ser centros de origen de la papa, con numerosas accesiones registradas en estos países que han sobrepasado las 1600, comprendiendo 7 especies nativas y 31 especies silvestres. (Estrada 2000). Por su lado, Huamán, Ortiz, Zhang y Rodríguez (2003) mencionan que la mayor concentración de papa se encuentran en la zona circunlacustre del lago Titicaca. Sin embargo, también se ha encontrado una diversidad considerable en otros pisos ecológicos del área andina. Cahuana y Arcos (2002) en Bolivia, encontraron especies que se cultivan en el altiplano y cabeceras de valle, los cuales son: "Luky", "Parina", "Kaisalla", "Ajanhuiri" y "Choque pitu".

En las regiones productoras del país, se adopta como práctica tradicional del abonado orgánico, mediante la aplicación de estiércoles de animales. Aunque resulta evidente la necesidad del rescate que este tipo de agricultura (ecológica, orgánica o biológica) brinda; puesto que constituye una de las principales estrategias para garantizar la sostenibilidad agrícola (AOPEB 2007).

En función a lo mencionado, la presente investigación ha sido orientada a la aplicación del Biol, como fuente de fertilización orgánica de bajo costo, bajo los siguientes objetivos: i) Determinar el efecto de la aplicación del "Biol" como fertilizante foliar en catorce accesiones de papas nativas (*Solanum* sp.); ii) Establecer el comportamiento agronómico de catorce accesiones de papa nativa en respuesta a la aplicación de "Biol" como fertilizante foliar.

iii) Comprobar la respuesta del rendimiento de papa nativa ante la aplicación de "Biol" vía aplicación foliar.

2. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca, dependiente de la Universidad Pública de El Alto. Se encuentra en la segunda sección Laja, provincia Los Andes, del departamento de La Paz. Geográficamente situada entre 68°19'49" de latitud Sur y 16° 26' 19" de longitud Oeste a una altitud de 3901 msnm.

Material vegetal

Se trabajó con catorce accesiones de papa nativa, procedentes de la colección del Banco de Germoplasma de la carrera de Ingeniería Agronómica, las cuales se seleccionaron por su valor comercial y rusticidad en cuanto a sus requerimientos.

Preparación del biol

El biol se preparó en un biodigestor (compartimiento hermético) para la fermentación anaeróbica de la materia orgánica. Las relaciones que se utilizaron son: agua 125 l, estiércol fresco 50 kg, gallinaza 3 kg, alfalfa 2 kg, Purín de bovino 2 l y cáscara de huevo 10 unidades.

Los diferentes materiales (ingredientes) fueron medidos guardando las relaciones, para los tres biodigestores tipo "turril" de cierre hermético con el fin de mantener las condiciones anaeróbicas.

El Biol fue obtenido luego de 90 días de biodigestión, bajo las condiciones descritas. Por decantación y posterior filtrado, se extrajo el sobrenadante.

La siembra

Se realizaron las siguientes actividades:

- Preparación del terreno con tractor agrícola.
- La siembra se realizó en surcos a una profundidad de 0.20 cm, con distancia de 0.80 cm entre surcos y se situaron a una distancia de 0.25 cm (densidad de siembra).
- Aporque a los 20 días de la emergencia y aplicación del fertilizante foliar de un 1 m² cada 20 días.
- La aplicación Biol se realizó por aspersión con una mochila, se realizaron a partir de los 20 días después de la siembra.
- La cosecha, se realizó cuando las hojas de la plantas se tornaron de color amarillento, indicando una madurez fisiológica.
- Concluida la cosecha se efectuó una selección (clasificación de tubérculos).

Análisis estadístico

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA). En los cuales, el factor "Accesiones" fue distribuido en las unidades experimentales, así como el factor Biol. La relación utilizada para la aplicación del Biol es la sucesiva;

T₁ Agua: Biol (1:1), T₂ Agua (Testigo) (1:2) y T₃ Agua: Biol (1:3)

El área total cultivable del ensayo fue de 297.5 m². Las dimensiones para cada unidad experimental fueron 6 m² por parcela (área cultivable).

Variables agronómicas

- Variables fenológicas.
- Días a la emergencia.
- Días a floración.
- Días de madurez fisiológica.
- Altura de la planta en cada fase fenológica.
- Largo de rama (tallo).

- Número de flores.
- Cobertura foliar.

Variables de rendimiento

- Peso del tubérculo tubérculos por planta en kg·m².
- Número de tubérculos por planta, por bloques.
- Número de tubérculos por mata de papa.

3. Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica del Biol

Los resultados del contenido nutricional del Biol, se muestra en la siguiente figura.

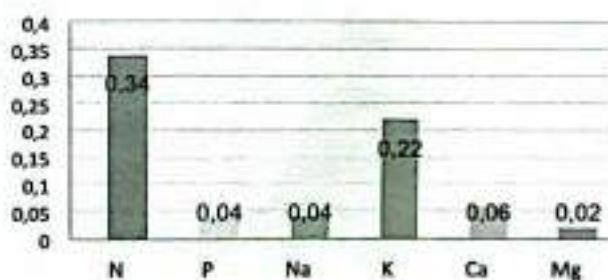


Figura 1. Composición química del Biol en base a materia seca.

De acuerdo a los datos el nitrógeno es el elemento predominante en la composición elemental del Biol, con 0.34% en base a materia seca. Este rango de concentración, es bajo, comparado con los datos obtenidos por Rodríguez (2003), que obtuvo valores en torno de 1.48% mediante la biodigestión de estiércoles de ganado. Se sitúan muy por debajo de los reportados por Jairo, Ciro y Sánchez (2007) en experimentos realizados con estiércol bovino. Los datos contrastan concentraciones de nitrógeno del orden de 2.5 a 3.5% (Piedrahita 2000).

Micronutrientes

El contenido de microelementos (oligoelementos), se muestra en la Figura 2. La composición de micronutrientes en el Biol destaca la presencia de hierro con 132 ppm, seguido del manganeso, cobre y zinc con 12.0, 1.0 y 6.0 ppm respectivamente.

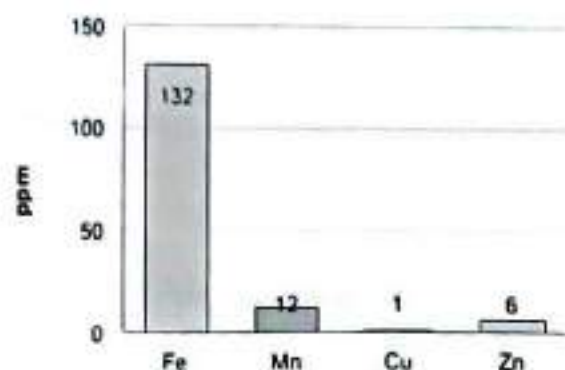


Figura 2. Concentración de micronutrientes en el Biol obtenido.

Los valores de hierro (Fe) son considerablemente elevados en comparación con los logrados por Piedrahita (2000) que reportó 4 ppm para este elemento considerándose valores ínfimos. En cuanto al Mn, Cu y Zn los valores se encuentran dentro del rango de 1 a 6 ppm de manera similar a los reportados.

Análisis de variables agronómicas

Los análisis estadísticos de los datos referidos a la altura de planta, largo de rama, número de ramas, número de flores, se muestran en la Tabla 1.

De acuerdo a la Tabla 1 los datos presentados para la variable "Altura de planta" muestran la no significancia en cuanto al factor Biol, es decir el producto aplicado en las diferentes accesiones de papa nativas no tuvo efecto significativo en el desarrollo de la altura de planta en sus diferentes dosis. Sin embargo, existe significancia respecto al factor Accesiones, por lo que se procedió al análisis de comparación entre medias Duncan.

El análisis de varianza (Tabla 1) presenta para la segunda variable "Largo de rama", que no se detectó significancia respecto al factor dosis de Biol, habrá que recalcar que existen diferencias al interior del factor Accesiones, para lo cual se procedió al análisis comparativo entre medias.

De acuerdo con los datos presentados para la variable número de ramas no muestra diferencias significativas, probablemente no fueron influenciadas por el medio ambiente respecto a la aplicación de dosis de Biol.

Los datos del análisis estadístico para la variable número de flores, muestra que no hubo efecto del Biol sobre la floración de las diferentes accesiones de papa nativa.

Tabla. 1. Análisis de varianza para rendimientos con la aplicación de Biol para variables agronómicas.

FV	GL	AP		LR		NR		NF	
		CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F	CM	Pr>F
BIOL (Bloq.)	2	37.007	0.329	45.98	0.175	10.024	0.062	3.31	0.133
ACC	13	101.74	0.006	60.714	0.025	11.817	0.002	3.663	0.027
Error	26	24.692		24.692		3.229		1.515	
Total	41								
CV			19.34		15.50		20.51		10.33
R ²			0.628		0.579		0.674		0.579

AP (Altura de planta), LR(Largo de rama),NR(Número de ramas), NF (Número de flores).

Análisis de varianza para el rendimiento agronómico

El análisis estadísticos de los datos referidos a la cobertura foliar, número de tubérculos y

rendimiento de tubérculos se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla. 2 Análisis de varianza de la eficiencia a los tratamientos en la aplicación del Biol en las variables de rendimiento en el cultivo de papa.

Fuente variación	GL	CF		NT		REND	
		CM	Pr > F	CM	Pr > F	CM	Pr > F
BIOL (Bloq.)	2	4.56	0.577	3.31	0.133	39438.373	0.139
ACC	13	16.358	0.064	3.663	0.027	59315.591	0.006
Error	26	8.111		1.515		18526.197	
Total	41						
CV			10.41		21.26		11.96
R ²			0.511		0.853		0.638

CF (Cobertura foliar), NT (Número de tubérculos), REND (Rendimiento de tubérculos).

El análisis de la variable cobertura foliar mostró diferencias significativas en el factor dosis de Biol sobre la cobertura foliar de las diferentes accesiones de papa nativa. Este efecto positivo, probablemente está relacionado con una dotación óptima de nutrientes y agua con lo cual, se logra una cobertura foliar de manera temprana y persistente en los tubérculos andinos. Por otra parte, un efecto positivo sobre el desarrollo foliar puede atribuirse al efecto fitohormonal del Biol Aparcana (2008), que enfatiza el efecto promotor y fortalecedor del crecimiento que posee este producto gracias a su concentración de fitohormonas como ácido indol acético, giberelinas, purinas y otras sustancias bioactivas.

Patiño y Rojas (2000) reconocen la importancia de una mayor cobertura foliar como una variable esencial para la resistencia al estrés; en este sentido, la aplicación de Biol puede constituir una opción viable para lograr este cometido, además de nutrir a la planta.

El análisis del variable número de tubérculos no detectó diferencias significativas en el factor

de Biol sobre accesiones respecto a la variable número de tubérculos. A pesar de ello, se observa unas leves diferencias entre las distintas accesiones.

El análisis de varianza para la variable Rendimiento mostró que no existen diferencias significativas respecto al factor dosis de Biol. Las diferencias entre accesiones muestran la variabilidad genética existente entre ellas con mayores rendimientos

Análisis de correlación

La matriz de correlación simple entre cada variable, cuantitativa, se presenta en la Tabla 3. Del total de coeficientes analizados, siete fueron significativos (marcados con uno o dos asteriscos, según sean significativos o altamente significativos). Se consideró como asociaciones lineales a aquellas que presentan coeficientes superiores a 0.20. El análisis de las correlaciones que se presenta a continuación es explicativo de asociaciones encontradas.

Para la variable Altura de planta se obtuvo una alta correlación (0.872**) con la variable Largo de ramas, por el contrario, no se detectó una relación entre esta variable y Número de tubérculos.

Tabla. 3. Matriz de correlación de siete variables agronómicas, a factores de aprovechamiento de biofertilizantes en las accesiones de papa nativa.

Variables	AP	NR	LR	CF	NF	NT	REND
AP	1.0	0.408**	0.872**	0.665**	0.205	0.088	0.453**
NR		1.0	0.372*	0.240	-0.154	0.231	0.154
LR			1.0	0.732**	0.131	0.135	0.288
CF				1.0	0.011	0.257	0.319*
NF					1.0	-0.090	0.190
NT						1.0	0.169
REND							1.0

De manera similar, la variable Largo de ramas presenta una relación significativa con la cobertura foliar, con un coeficiente $r = 0.73$, parámetro que fue influenciado positivamente por el Biol aplicado. Por otro lado, se observó que no se estableció una correlación significativa entre la Cobertura foliar y Número de tubérculos, sin embargo la relación con el "Rendimiento" alcanzó un $r = 0.319$.

Estadística descriptiva

El análisis descriptivo de las accesiones muestra una función de distribución normal (según los coeficientes de sesgo y curtosis). Los resultados obtenidos en el Tabla 4 muestran un rendimiento medio de $3.59 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, con una mínimo de $1.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ y un máximo de $17.76 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ lo cual, muestra la gran variabilidad genética entre las accesiones.

Tabla. 4. Estadística descriptiva sobre variables agro-morfológicas del estudio caracterización de 14 accesiones de papa nativa.

	AP	NR	LR	CF	NF	NT	REND
Promedio	29.090	8.762	31.981	27.348	11.905	22.000	3597.8
	0		1	8	5	0	
Media	27.635	8.000	32.165	27.830	12.000	18.500	3167.7
	5		5	0	0	0	
Desviación Estandar	7.3692	2.5087	6.1007	3.2504	1.5111	9.7079	1802.206
	2	7	7	4	1	9	
Sesgo	1.076	1.045	0.479	-0.003	0.080	1.281	1.346
Curtosis	2.033	0.727	0.599	0.480	0.650	1.160	1.970
Minima	15.3	5.0	18.1	20.2	8.0	11.0	1003
Maxima	53.5	16.0	47.7	38.0	16.0	50.0	17767.760

AP (Altura de planta), NR (Número de ramas), LR (Largo de ramas), CF (Cobertura foliar), NF (Número de flores), NT (Número de tubérculos), REND (Rendimiento)

4. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se formulan las siguientes conclusiones:

La aplicación de Biol como fertilizante foliar sobre 14 accesiones de papa nativa no originó un incremento en el rendimiento de tubérculos, pero sin embargo hubo en efecto positivo en el

desarrollo de la cobertura foliar.

Se obtuvieron rendimientos elevados para algunas accesiones como "Polo", alcanzando un rendimiento de $17.76 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, seguido por "Alq'apali" con $8.99 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Las accesiones con menores rendimientos bajo las condiciones de estudio fueron "Bola runa" con $1.85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ y "Canatilla" $1.61 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

5. Referencias bibliográficas

Cochabamba-Bolivia. 34 p.

- AOPEB, 2007. Sistematizando nuestras experiencias de campesino a campesino "Construyendo una Bolivia ecológica", edit. Bolivia. La Paz Bolivia. p 11-20.
- Aparcana, S. 2008. Estudio sobre el Valor fertilizante de los productos del proceso Fermentación anaeróbica para producción de biogás. Perú. 4 p.
- Cahuana, R. y Arcos, J. 2002. Variedades de papas más importantes en Puno. Programa Inter-institucional WaruWaru. Puno. Perú.
- CIP. 2008. Centro Internacional de la Papa (CIP) ° Av. La Molina 1895 Apartado 1558, Lima 12, Perú cip@cgiar.org cip@cgiar.org (En línea). Disponible en www.cipotato.org consultado 05 de dic. 2010.
- Estrada, R. 2000. La Biodiversidad en el Mejoramiento Genético de la papa. Bill Hardy, Emma Martínez (eds.) La Paz, Bolivia. 372 p.
- Huamán, Z. AND D.M. SPOONER. 2003. Reclassification of landrace populations of cultivated potato (*Solanum* sect. *Patata*). *Amer. J. Bot.* 89:947-965p.
- Huaman, Z. Ortiz, D. Zhang, F. Rodríguez. 2003. Isozyme analysis of entire and core collections *Solanumtuberosum*. *Andigena* potato cultivars. *CropSci.* 276 p.
- Jairo, A. Ciro, H. Sánchez, H. 2007. Evaluación de un Sistema De Biodigestión Para Clima Frío. *Revista. Facultad Nacional. Agronomía. Medellín.* 41 p.
- Patiño, J. Rojas, F. 2000. Rendimiento Potencial de papa nativas (*Solanumtuberosum*ssp. *Andigena* y *stenotomum*), *papalisa* (*Ullucustuberosus*), *oca* (*Oxalis tuberosa*) e *isaño* (*Tropaeolumtuberosum*), en la localidad de Candelaria. Prov. Chapare - Cochabamba, Tesis Ing.FCA y P-UMSS,
- Piedrahita, D. 2000. Elementos para una tecnología sobre producción de biogás. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 137p.
- Rodríguez, W. 2003. Datos climáticos. Informe: Resumen del período 1996 a 2006 (documento electrónico). Estación Meteorológica, Universidad EARTH, CR.

ANEXOS



Foto 1. Distribución de los tratamientos de las accesiones de papa, en boques con la aplicación del Biol en la Experimental de Kallutaca.



Foto 2. Cobertura foliar en la accesión Polo mostrando un desarrollo abundante del área foliar con la aplicación del Biol en la Experimental de Kallutaca.

DINÁMICA DEL AGUA EN SUKA KOLLUS EN CONDICIONES DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL

Water dynamics in suka kollus in surface and subsurface drainage conditions

Serrano, G.¹; Guarachi, E.²

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

¹ Docente de la materia de Riegos y Drenajes, carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

² Investigador de la carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto.

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

Among the most important hydraulic technological structures developed in the Andean region are the suka kollus. Presumably, one of the main functions was draining, because they are surrounding the Titicaca lake; but they also have the property to provide water to crops by the upward flow of water from coating toward the root zone (subsurface irrigation). This work, is about the implementation of a drainage "mixed" hydraulics structure adapted to suka kollus, so that can evaluate the influence of the movement of water under the conditions suka kollus surface and subsurface drainage for the production of the potato into Kallutaca - Laja experimental station. In the study, four treatments were included: T1 free drainage canal (control) in 60 m², T2 drainage with 1 tube in 150 m²; T3 drainage with 2 tubes in 248 m²; T4 drainage with 3 tube 345 m². The results indicate that the highest yield was achieved in the third treatment (11.3 Mg*ha⁻¹) followed by second treatment (10.7 Mg*ha⁻¹), while the lower yield was recorded in the treatment fourth (7.3 Mg*ha⁻¹), it being even below the control (8.3 Mg*ha⁻¹). These results allow us to infer that it is possible to increase the net area of crop by implementing combined drainage system (surface and subsurface), considering mainly the hydraulic factor related to physical-geometric factor.

Key word: Sukakollus, subsurface irrigation, surface drainage and water dynamics.

Resumen

Entre las estructuras hidráulicas más importantes de la tecnología ancestral desarrollada en nuestra región andina, están los suka kollus, de los cuales se presume que una de sus funciones principales fue el drenaje, debido a que se encuentran circundantes al lago Titicaca, pero también tienen la propiedad de suministrar agua a los cultivos mediante el flujo ascendente, desde la capa freática hacia la zona radicular (riego subsuperficial). El presente trabajo, comprende la implementación de un drenaje "mixto" adaptado a la estructura hidráulica de los suka kollus, con el objetivo de evaluar la influencia del movimiento de agua en suka kollus bajo las condiciones de drenaje superficial y subsuperficial, para la producción de la papa en la estación experimental de Kallutaca - Laja. Para ello, se han considerado cuatro tratamientos: T1) drenaje con canal libre (testigo) en 60 m²; T2) drenaje con 1 tubería en 150 m²; T3) drenaje con 2 tuberías en 248 m² y T4) drenaje con 3 tuberías en 345 m². Los resultados obtenidos, indican que el mayor rendimiento fue alcanzado en el tratamiento tres (11.3 Mg*ha⁻¹) seguido por el tratamiento dos (10.7 Mg*ha⁻¹), en tanto que el menor rendimiento se registro en el tratamiento cuatro (7.3 Mg*ha⁻¹), estando incluso por debajo del testigo

(8.3 Mg*ha⁻¹). Estos resultados nos permiten inferir que es posible incrementar la superficie neta de cultivo, mediante la implementación del sistema mixto de drenaje (subsuperficial y superficial), considerando principalmente el factor hidráulico relacionado al factor físico-geométrico.

Palabras clave: Sukakollus, irrigación subsuperficial, drenaje superficial y dinámica del agua.

1. Introducción

Los suka kollus se encuentran entre las estructuras hidráulicas más importantes de la tecnología ancestral desarrollada en nuestra región andina, utilizada como una técnica de producción en suelos anegadizos, por lo que se presume que una de sus funciones principales fue el drenaje, considerando que un buen número de estos se encuentran circundantes al lago Titicaca; también tienen la propiedad de generar efecto termorregulador, dependiendo de la relación canal/terraplen y tamaño de la infraestructura.

Respecto al movimiento del agua en los suka kollus, Colque (2000) señala que al inicio de una campaña agrícola, cuando se alimenta con agua a los canales, el agua se acumula rápidamente en estos y empieza a fluir, en forma simultánea una fracción penetra al interior de las plataformas, otra fracción sale del sistema por percolación profunda y otra fluye fuera del sistema a través del canal de salida.

Ante la falta de información, especialmente del efecto que produce el régimen hidráulico y las propiedades conductivas en estos sistemas, algunos agricultores han visto por conveniente rellenar con tierra los canales a objeto de proporcionar mayor espacio para la operación de la yunta, esta situación nos ha motivado para plantear otras opciones de manejo que nos permitan conservar sustancialmente las bondades que nos ofrece este sistema de producción, y analizar un margen en la ampliación de plataformas mediante el rellenado de los canales, sin que esto pueda reducir la productividad.

En el presente trabajo se ha implementado un drenaje "mixto" adaptado a la estructura hidráulica de los suka kollus, con el propósito de estudiar los factores que influyen en el movimiento del agua cuando se combina el drenaje superficial de los suka kollus con la técnica del drenaje subsuperficial a través de tubos de poli cloruro de vinilo (PVC) perforados. Durante el estudio, se han evaluado cuatro sistemas de drenaje, habiéndose excluido entre uno a tres canales, que fueron sustituidos por el drenaje subsuperficial, dando lugar a terraplenes entre 12 a 25 m de ancho.

Mediante el presente estudio se planteó evaluar la influencia del movimiento de agua en suka kollus bajo las condiciones de drenaje superficial y subsuperficial, para la producción de la papa (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*), en base a los siguientes objetivos específicos: i) Caracterizar las propiedades hidrofísicas en condiciones de drenaje mixto; ii) Determinar la mejor alternativa de drenaje para el sistema de suka kollus; iii) Evaluar la producción de papa en tres condiciones de drenaje mixto; iv) Evaluar los indicadores económicos del cultivo en las condiciones de drenaje mixto.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en los predios del Centro Experimental de Kallutaca, de la Universidad Pública de El Alto, ubicada a 20 km al sur oeste de la ciudad de La Paz. La estación se encuentra en el municipio de Laja de la provincia Los Andes. Geográficamente está comprendida entre los paralelos: 16° 31' 10" de latitud sur y 68° 19' 05" de longitud oeste a una altitud de 3882 msnm.



Figura 1. Imagen de ubicación del área de estudio (sin escala).

Metodología

La identificación de los principales parámetros físicos y la capacidad de retención de humedad en los diferentes tratamientos, fueron realizadas en laboratorio para las muestras extraídas entre las profundidades de: 0 a 15, 15 a 38 y 38 a 50 cm respectivamente, mediante los cuales se estableció la preponderancia de la clase textural a diferentes profundidades en cada uno de los tratamientos, como se muestra en la Figura 2

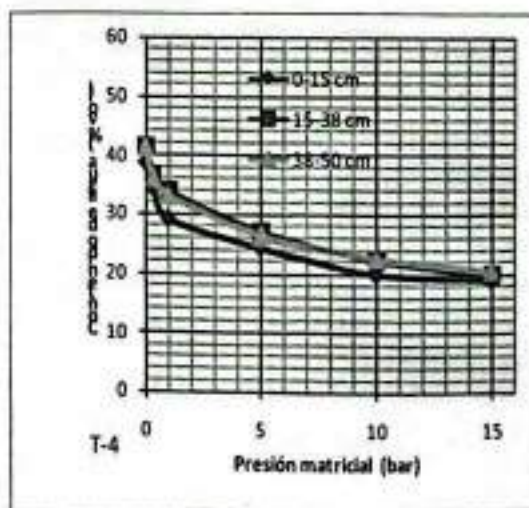
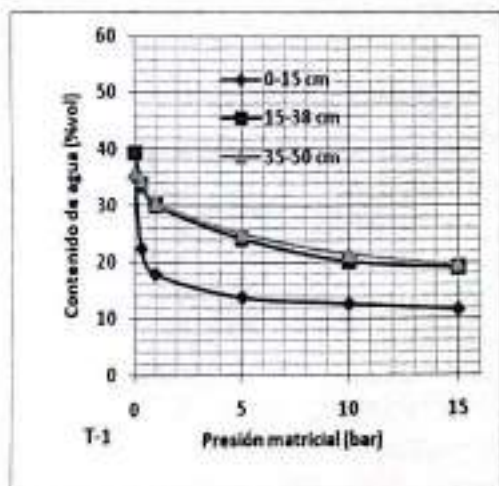
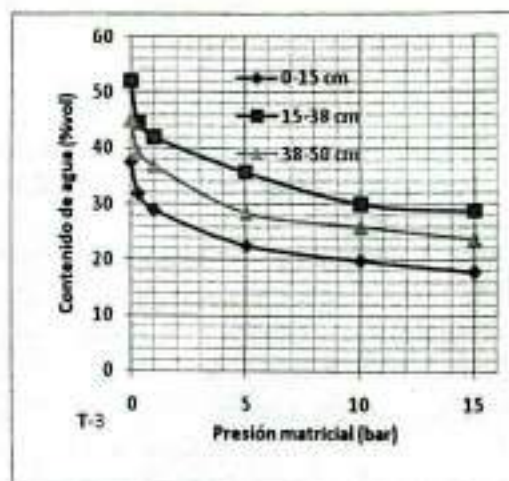
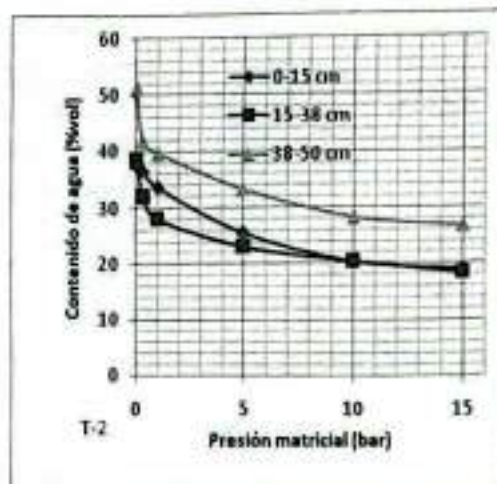


Figura 2. Curvas de retención de humedad en cuatro tratamientos (T₁, T₂, T₃ y T₄).

Durante el ensayo, los tensiómetros fueron instalados a las profundidades de 15 y 30 cm respectivamente. Con estos se han medido los potenciales matriciales, mediante la siguiente ecuación:

$$\psi_m = -12.6(h) + h_1 + h_2 \quad (1)$$

Donde:

h = Altura de ascenso del mercurio en cm.

h_1 = Altura de la superficie del suelo hasta la superficie libre del mercurio en cm.

h_2 = Profundidad a la que se encuentra la cápsula de cerámica en cm.

ψ_m = Potencial matricial en cm.

Para determinar el flujo de agua en medios no saturados, los valores de $K(q)$ fueron estimados mediante el modelo de Van Genuchten (1980), cuyos parámetros han sido tomados en base a la clase textural predominante para fracciones de subsuelo, relacionado a la nomenclatura publicada por Wosten et al. (2001). Los parámetros que pertenecen a la clase textural Franco Arcillo Limoso (N° de curva 11), han sido sustituidos en el siguiente modelo:

$$K(\theta) = \frac{K_s \cdot \left[\left(1 + (|\alpha \cdot h|)^n \right)^m - (|\alpha \cdot h|)^{n-1} \right]^2}{\left[1 + (|\alpha \cdot h|)^n \right]^{m \cdot (2+\lambda)}} \quad (2)$$

Donde:

$K(\theta)$ = Conductividad hidráulica en (cm/día)

h = Presión matricial promedio (cm)

α = Parámetro empíricos de la ecuación de Van Genuchten (cm⁻¹)

m, n = Parámetros adimensionales

λ = Parámetro adimensional (-)

La ecuación de Gardner y Widtsoe (1921, citado por Prevedello, 1996) para el movimiento de agua en un suelo no saturado, se reescribe para un campo de flujo promedio q_z entre los puntos de medición 1 y 2 como:

$$q_z = -K(\theta) (\psi_1 - \psi_2) / (z_1 - z_2) \quad (3)$$

El punto 1 de medición se localizó a 15 cm de profundidad y el punto 2 de medición a 30 cm de profundidad:

$$Z_1 = -15 \text{ cm}, Z_2 = -30 \text{ cm y } Z_1 - Z_2 = -15 \text{ cm.}$$

La verificación de la distancia entre drenes, fue realizado mediante la ecuación de Glover - Dumm (Luque, 1991) que es la fórmula más conveniente para definir la separación "L" o distancia apropiada entre drenes paralelos, tomando en cuenta condiciones de flujo y el valor de "K", de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$L^2 = \pi^2 \cdot \frac{K \cdot d \cdot T}{V} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{1.16 \cdot h_o}{ht}\right)}$$

Donde:

L = Distancia entre drenes (m)

K = Conductividad hidráulica (m/día)

D = Profundidad de "capa equivalente" f(L, Pm, Do)

T = Intervalo de tiempo entre riegos tomado en días.

V = Porosidad efectiva (%).

h_o = Elevación de la tabla de agua (m).

ht = Altura sobre el nivel de los drenes, luego del tiempo T (m).

La ecuación de Glover - Dumm (Luque, 1991), se puede resolver por prueba y error, pero también se convierte en una ecuación de segundo grado combinando con la fórmula de Van - Beers (Luque, 1991), obteniéndose la siguiente relación:

$$L^2 + \frac{8 \cdot D}{\pi} \cdot \ln\left(\frac{D}{\pi \cdot r}\right) \cdot L - \frac{D \cdot K \cdot \pi^2 \cdot T}{V \times \ln\left(\frac{1.16 \cdot h_o}{ht}\right)} = 0$$

Los anchos de plataforma se han ido conformando en base al cubrimiento de canales

con tierra, previo acondicionamiento y tendido de tubería de drenaje PVC 4", de acuerdo a los datos de la Figura 3.

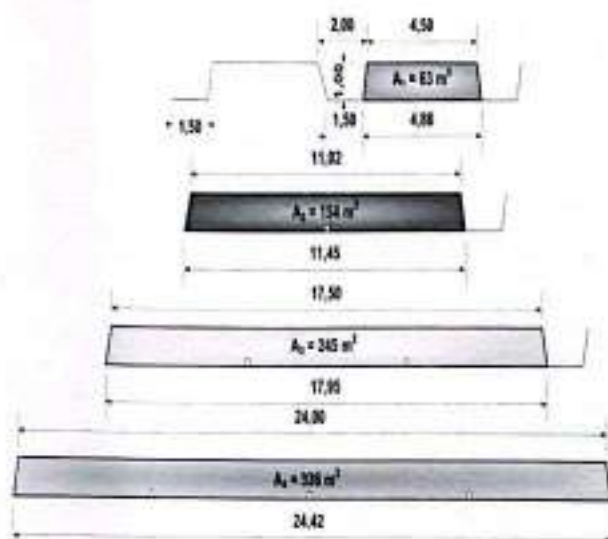


Figura 3. Drenaje y dimensiones de la sección transversal en cada tratamiento.

Cuadro 1. Propiedades hidrofísicas del suelo a tres profundidades en cada tratamiento

Trat.	Prof. (cm)	A (%)	Y (%)	L (%)	Clase Textural	P (%)	rap (g/cm³)	qcc (%)	qmp (%)	Dq (mm/m)
1	0 - 15	60	11	27	FA	42.3	1.53	24.2	11.4	128.0
	15 - 38	42	25	30	F	48.0	1.38	33.6	18.9	146.9
	38 - 50	39	27	32	F	48.6	1.36	34.7	19.6	151.2
2	0 - 15	23	26	48	FL	49.7	1.33	36.7	19.0	176.9
	15 - 38	48	24	25	F	47.4	1.39	32.1	18.4	136.7
	38 - 50	30	41	27	FY	51.6	1.28	41.8	26.8	150.2
3	0 - 15	44	24	30	F	47.7	1.39	32.0	17.9	140.9
	15 - 38	23	45	30	Y	52.6	1.26	44.6	28.8	157.7
	38 - 50	31	35	32	FY	50.7	1.31	39.2	23.7	154.9
4	0 - 15	39	25	33	F	48.3	1.37	34.2	18.9	152.9
	15 - 38	31	27	40	F	49.3	1.34	36.4	19.8	166.5
	38 - 50	36	29	33	F	49.2	1.35	35.9	20.5	154.0

El tratamiento T_1 registra la menor capacidad de almacenamiento, aunque esta capacidad va mejorando a medida que se incrementa la profundidad, en este tratamiento se encuentra el mayor porcentaje de arena (60%) en el estrato superior (de 0 a 15 cm de profundidad), su baja capacidad de almacenamiento de agua (128 mm/m), favorece de manera conjunta a una elevada infiltración e incide para el escaso flujo de agua ascensional por el reducido predominio de poros capilares.

La medida longitudinal fue como promedio 14 m de largo, esto relacionando a cada ancho transversal nos proporciona las áreas de producción indicadas en cada tratamiento.

3. Resultados y discusión

Los datos de laboratorio han sido organizados y complementados para su respectivo análisis, habiéndose establecido tres profundidades en cada tratamiento, tal como se muestra en el Cuadro 1.

La capacidad de almacenar agua por cada tratamiento es: $T_1 = 142$, $T_2 = 155$, $T_3 = 151$ y $T_4 = 158$ mm/m respectivamente, estos resultados indican que el T_4 seguido del T_2 , tienen la mejor capacidad de almacenamiento. Sin embargo, en el T_4 predomina la clase textural franco que favorece al drenaje del agua que se encuentra por encima de la capacidad de campo, aunque tienen menor capacidad de retención de humedad respecto a los suelos de textura fina. En el T_2 a diferencia del T_4 , se puede observar

clases texturales intermedias como el FL entre 0 a 15 cm y FY entre 38 a 50 cm de profundidad, en este último podemos advertir importante contenido de arcilla en el horizonte inferior (41%). El otro tratamiento que también tiene mayor predominio de poros finos en horizontes inferiores es el T₃, con 45% de arcilla entre 15 a 38 cm y 35% de arcilla entre 38 a 50 cm de profundidad.

Los valores de K(θ) obtenidos mediante la ecuación (2) para diferentes promedios de presión matricial, han sido ajustados a una relación de tipo potencial (Figura 4).

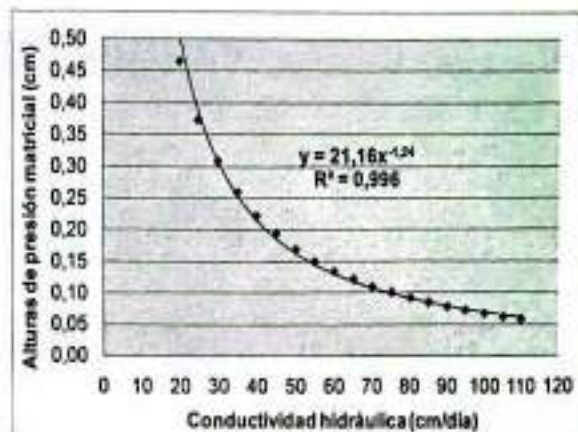


Figura 4. Función determinada por ajuste.

Por tanto, la conductividad hidráulica no saturada, fue determinada en función del potencial matricial con la siguiente relación:

$$K\theta = 21.16 (-\psi m)^{-1.24}$$

Cuadro 2. Tasa de flujo o caudal medido en l/m² semana

Trat.	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL	
	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da	3ra	4ta	1ra	2da
T ₁	18.43	24.16	-6.84	16.32	-15.33	23.51	33.56	58.08	72.77	60.12	67.33	38.53	45.78	41.76
T ₂	-12.94	13.90	-11.37	2.97	2.49	41.27	39.08	60.40	50.58	59.62	63.81	56.78	37.72	54.77
T ₃	-23.14	18.71	0.56	12.92	-1.08	49.14	24.18	69.00	69.35	50.52	47.22	16.14	43.31	41.28
T ₄	-15.87	23.51	-1.75	27.72	-20.44	11.11	17.55	32.05	54.90	22.90	37.65	20.66	28.62	34.08

Mediante la ecuación (1) se determinó los datos de tensión matricial a una cabeza de succión de 15 y 30 cm respectivamente en cuatro tratamientos, incluido el testigo, mientras que con la ecuación (3) se determinó el flujo promedio en función de la conductividad hidráulica y variación del potencial mátrico para cada semana (Cuadro 2).

La figura 5 ilustra la variación de flujo de humedad medida a través de tensiómetros instalados a las profundidades de 15 y 30 cm respectivamente. Los datos muestran al tratamiento T₁ (testigo) con elevados valores de flujo de humedad entre la primera y tercera semana del mes de marzo (72.27 y 67.33 l/m²), habiendo sobrepasado levemente a los tratamientos T₃ y T₂ en estas semanas respectivamente, en tanto que el

tratamiento T₁ alcanza también su máxima tasa de flujo de agua entre la tercera semana de febrero con 69 l/m² y la primera semana de marzo con 69.35 l/m².

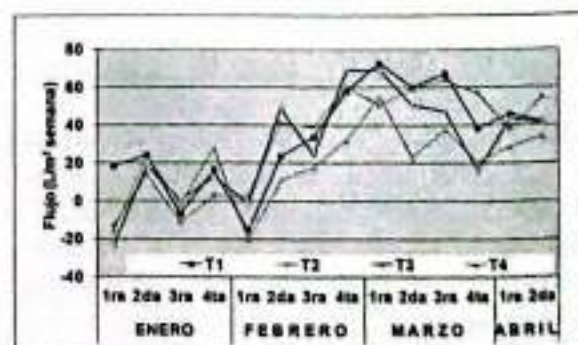


Figura 5. Comportamiento de flujo de humedad vertical en cuatro tratamientos.

En el periodo comprendido entre la maduración y floración del cultivo, se registra una elevación del flujo en casi todos los tratamientos. Sin embargo, en estos periodos se ha continuado registrando precipitaciones, tal como se muestra en la figura 6, el mismo que fue reduciéndose al finalizar el ciclo vegetativo, coincidiendo la falta de precipitación en la primera semana de abril (una semana antes de la cosecha), situación que contribuye para el flujo de humedad de los horizontes subsuperficiales.

La Figura 6 presenta la variación semanal de la evapotranspiración de cultivo, sumando 347 mm y una precipitación acumulada de 272.4 mm en 18 semanas. Asimismo, de diciembre a abril se registró una precipitación de 274 mm; aunque históricamente se reporta 454 mm en promedio para este mismo periodo. Si la fuente de agua fuera solamente el de precipitación, durante las 18 semanas se habría registrado requerimientos de agua, entre la 8va y 11va semana y entre la 13va y 14va semana, por lo que se puede asumir, que los mismos fueron cubiertos por el agua almacenada debido a precipitaciones previas a los periodos mencionados.

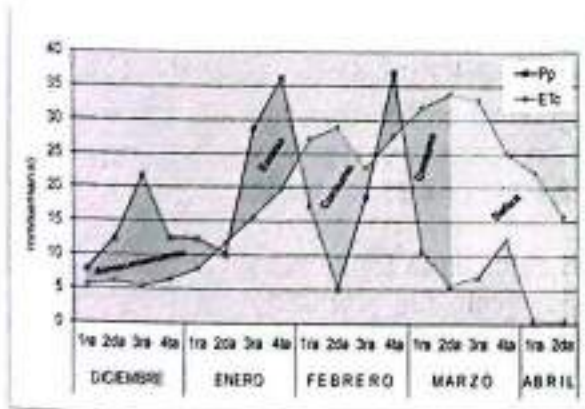


Figura 6. Comportamiento de precipitación y evapotranspiración, en semanas.

Comparando el requerimiento de agua (Figura 6) con el comportamiento de flujo de humedad (Figura 5), podemos indicar que los requerimientos han sido cubiertos de manera general con los flujos ascendentes. Entre la 2da y 3ra semana de febrero, los tratamientos T_1 y T_2 bajan la tendencia del ascenso de agua, en

tanto que en los tratamientos T_2 y T_3 se nota una declinación, éste comportamiento refleja, un consumo con leve incremento y un consumo reducido del agua del nivel freático en los tratamientos analizados para este periodo, sin embargo, el consumo mayor puede estar provisto por el agua almacenada en periodos anteriores (Figura 6), donde la precipitación está por encima de la evapotranspiración.

Como se podrá observar en la figura 7, el tirante de agua en los canales, fue sostenido a un promedio de 9 cm, el mismo que fue controlado con el vertedero de salida; en consecuencia, en los canales se ha establecido un nivel freático de 0.9 m de profundidad medidos desde la superficie de cultivo como promedio para todos los tratamientos.

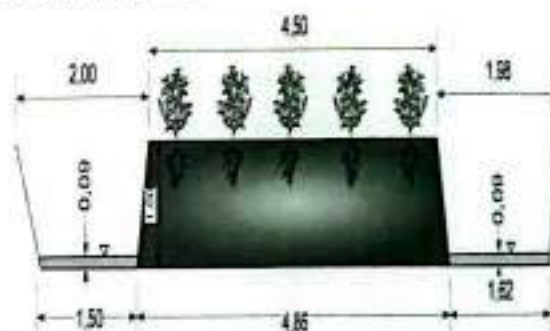


Figura 7. Detalle del tirante de agua en los canales.

De acuerdo con los datos históricos, se fija una pluviosidad media de 600 mm, con ocurrencias entre diciembre a marzo (120 días), situando la intensidad máxima de precipitación en 60 mm/h, el mismo que ocasionará una elevación de la tabla de abatimiento, el cual deberá descender antes de la próxima lluvia, en este caso 12 días.

Para el cálculo de la distancia entre drenes, también es necesario la conductividad hidráulica media del suelo en condiciones de saturación, este valor fue de 5.75 mm/h (0,138 m/d), que representa a la clase textural FYL, los otros datos son tomados de acuerdo a las siguientes condiciones establecidas:

- Porosidad efectiva (V) = 0,09.
- Elevación de la tabla de agua (h_0) = 0.6 m.
- Altura sobre el nivel de los drenes (h_1) = 0.3 m

Sustituyendo los datos en la ecuación (5), tenemos:

$$L^2 + \frac{8 \times 1.5}{\pi} \ln\left(\frac{1.5}{\pi \cdot 0.06}\right) \cdot L - \frac{1.5 \times 0.138 \cdot \pi^2 \cdot 12}{0.09 \times \ln\left(\frac{1.16 \times 0.6}{0.3}\right)} = 0$$

$$L_1 = \frac{-7.923 \text{ m} + \sqrt{(7.923)^2 - 4 \cdot (1) \cdot (-323.68)}}{2(1)} = 14.46 \text{ m}$$

Este resultado nos da la pauta de que podemos utilizar plataformas de hasta 15 m aproximadamente, sin necesidad de introducir drenes intermedios (subsuperficiales), empero por el lado de la confiabilidad, será preferible trabajar con longitudes menores a 14.46 m para dar un rango de seguridad y evitar el anegamiento de los cultivos.

Considerando los valores promedios de la conductividad hidráulica (0.0477 d) y porosidad efectiva (0.1263) obtenidos de los cuatro tratamientos entre 0.15 a 38 cm de profundidad, además de mantener el mismo intervalo de tiempo para la presencia de precipitación intensa, bajo las condiciones geométricas establecidas, sustituyendo los valores en la ecuación (5), el espaciamiento resulta en 5.81 m.

Coincidentemente, el valor de 5.81 m se adecúa a los anchos de camellones que en promedio están entre los 5 m, con canales de 1.5 a 1.7 m de ancho de solera, sin embargo, como se observa en la Figura 8 los tubos de drenaje han sido distanciados entre los ejes a 6.5 m de acuerdo a mediciones del conjunto de los camellones.

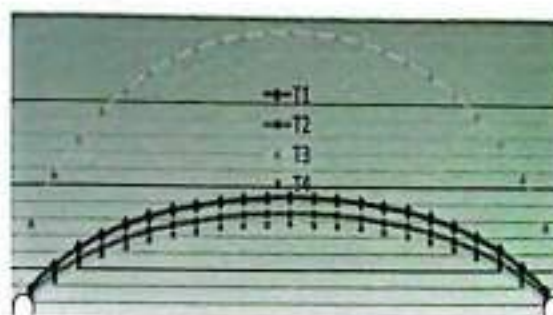


Figura 8. Formación de tablas de abatimiento para cada tratamiento.

En la Figura 8, se aprecia que los tratamientos T_1 y T_2 presentan un abatimiento cercano por encima de la media; en tanto el T_4 expone un elevado nivel de abatimiento muy por encima del valor promedio para las mismas condiciones geométricas establecidas en todos los tratamientos.

Con el objeto de evaluar la implementación del drenaje mixto en diferentes tratamientos, se ha utilizado el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*), de la variedad 'Imilla negra' de la que se empleó 12 qq en un área aproximada de 1000 m^2 . La siembra se realizó el 30 de noviembre del 2009 y la cosecha el 11 de abril del 2010, habiendo culminado el ciclo vegetativo en 135 días (hasta la tuberización), en cuyo periodo se registro una precipitación de 272,4 mm y 8 días con heladas.

Los datos de la Figura 9, indican que el mayor rendimiento fue alcanzado en el tratamiento tres ($11.3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) seguido por el tratamiento dos ($10.7 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), en tanto que el menor rendimiento se registro en el tratamiento cuatro ($7.3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), estando incluso por debajo del testigo ($8.3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

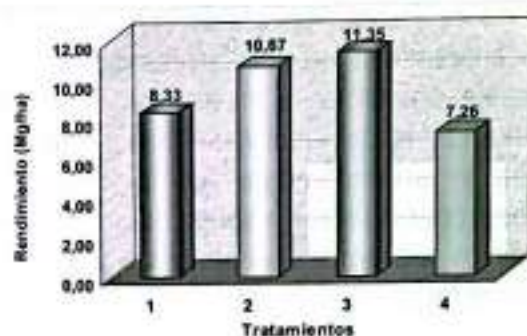


Figura 9. Rendimiento de tubérculos frescos en los cuatro tratamientos

En base a la prueba de promedios de Duncan a un nivel de 5% de probabilidad, se establece que, los tratamientos T_2 y T_3 no son significativos entre sí, de la misma forma los tratamientos T_1 y T_4 no expresan significancia entre sí, asimismo, el hecho de que los tratamientos T_2 y T_3 muestren mejores rendimientos frente a los tratamientos T_1 y T_4 , pueden estar relacionados con la disposición y suministro de agua en la zona radicular, entendiéndose que para los tratamientos T_1 y T_4 fue insuficiente, mientras que los tratamientos T_2 y T_3 fueron favorecidos por esta situación.

Los costos incurridos en insumos y mano de obra, relacionados a los beneficios en cada uno de los tratamientos, nos permiten realizar la comparación en valores de: ingreso, costo y beneficio. En la Figura 10, los beneficios negativos (del T_1 y T_4) descartan cualquier posibilidad de

inversión económica, en tanto que se destacan como beneficiosos los tratamientos T_2 y T_3 con 87.95 y 64.57 \$us respectivamente.

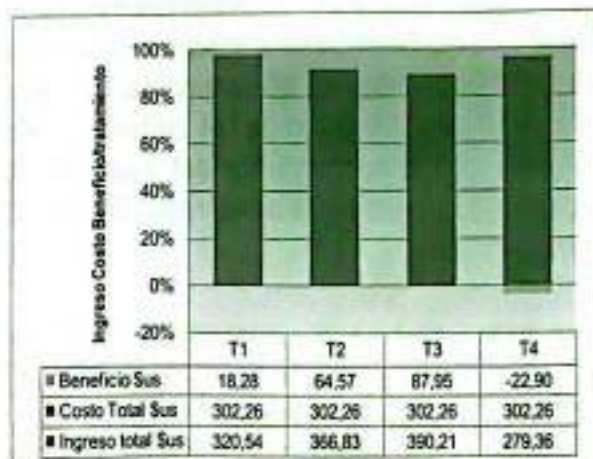


Figura 10. Variación de beneficios por tratamiento.

La evaluación económico financiera proyectado a una hectárea de superficie, fue realizado con los tratamientos T_2 y T_3 que expresan beneficios netos razonables en relación al tratamiento testigo, donde el costo inicial a ser amortizado resulta en 1874.33 y 2499.11 \$us respectivamente. Asimismo, el costo variable por área experimental en cada tratamiento, fue proyectado a costos por hectárea en 2906,35 \$us/ha para los tratamientos T_2 y T_3 . Bajo las consideraciones expresadas, el Cuadro 3 presenta los parámetros financieros que nos permiten orientar y formular recomendaciones entre ambos tratamientos.

Cuadro 3. Comparación de parámetros financieros entre tratamientos T_3 y T_2

INDICADOR	Unid.	Tratamiento 3		Tratamiento 2	
		1040 m ²	1 ha	1040 m ²	1 ha
Producción	Mg/ha	11.35	11.35	10.67	10.67
Total Inversión	\$us	401.00	2499.11	401.00	1874.33
Total costos	\$us	302.26	2906.35	302.26	2906.35
Total ingresos	\$us	390.21	4199.50	366.83	3947.90
Relación Beneficio/Costo	\$us/\$us	1.24	2.92	0.91	3.14
Tasa de descuento	%	0.12	0.12	0.12	0.12
TIR e	%	17.60	50.90	9.75	54.87
VAN e	\$us	85.67	4292.38	-32.27	3580.93
Año de recuperación	N°	5	2	7	2

4. Conclusiones

Los suka kollus, cumplen la función de evacuar el agua excedentaria principalmente en sectores donde el nivel freático se encuentra cercano a la superficie. Asimismo, el suministro de agua para riego suplementario de los cultivos, se da mediante el flujo ascendente del agua desde la capa freática hacia la zona radicular (riego subsuperficial).

Para reducir el área de canales e incrementar la superficie neta de cultivo, es factible la implementación del sistema de drenaje mixto (subsuperficial y superficial), como alternativa para añadir tierras marginales a la agricultura, considerando que el factor hidráulico se constituye como determinante relacionado al factor físico-geométrico.

Los niveles de abatimiento elevados implican una saturación de los espacios porosos del suelo, creando condiciones de anegamiento y falta de oxígeno en el área radicular que repercute en una baja producción, en estos casos se requiere mejorar las condiciones geométricas, produciendo el avenamiento mediante los canales (drenaje superficial) y las tuberías enterradas (drenaje subsuperficial), los cuales deben conectarse a los drenes colectores ubicados a una cota inferior, para garantizar la evacuación del agua en periodos de máxima recarga del agua subterránea.

La diferencia de las propiedades hidrofísicas del suelo, con respecto a los rendimientos en los diferentes tratamientos, nos permiten inferir que están relacionados de forma indirecta con la producción de la papa en los suka kollus, en las condiciones y características en la que fue ejecutado el estudio.

En el altiplano boliviano, la producción de la papa con elevados costos de producción e ingresos fluctuantes, depende de la situación del mercado y de las condiciones climáticas,

pero no es menos importante la característica edáfica cuando se produce empleando el riego y drenaje; por tanto, la producción de la papa en suka kollus, debe ser estudiada conociendo amplia y profundamente los factores físico geométricos del sector, a objeto de proyectar los beneficios sociales y económicos a situaciones más generales.

5. Referencias bibliográficas

- Colque, V. 2000. Balance hídrico en el sistema de riego a través de campos elevados (suka kollus). Tesis de Grado, Escuela Militar de Ingeniería Mariscal Antonio José de Sucre. La Paz, Bolivia. 200 p.
- Erickson, C. 2006. El valor actual de los camellones de cultivo precolombinos. Experiencias del Perú y Bolivia. En Agricultura ancestral. Camellones y albarradas: Contexto social, usos y retos del pasado y del presente. Quito, Ecuador. p. 315-339.
- Lhome, J. y Vacher, J. 2003. La Mitigación de heladas en los camellones del Altiplano Boliviano. Bull. Inst. Fr. Études Andines. 32 (2). p. 377-399.
- Orsag, V.; Quino, E.; Rocha, R.; Calisaya, I. y Molina, P. 1992. Cambios de algunas características físicas y químicas de los suelos de los Suka kollus, construidos en zonas no tradicionales del Altiplano Central de Bolivia. Avances de la investigación sobre la tecnología de Waru waru. 1ra ed. CIMA. Puno, Perú. p 151-172.
- Roldan, J.; Chipana, R.; Moreno, F.; DEL PINO J.L. y Bosque, H. 2009, Suka kollus, tecnología prehispánica de riego y drenaje en proceso de abandono: estrategias mixtas de diseño y manejo. [En línea]: Disponible en <http://> (Accedido 5 julio 2010).

Van Genuchten, M. 1980 A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Science Society American Journal, v. 44. p 892- 898.

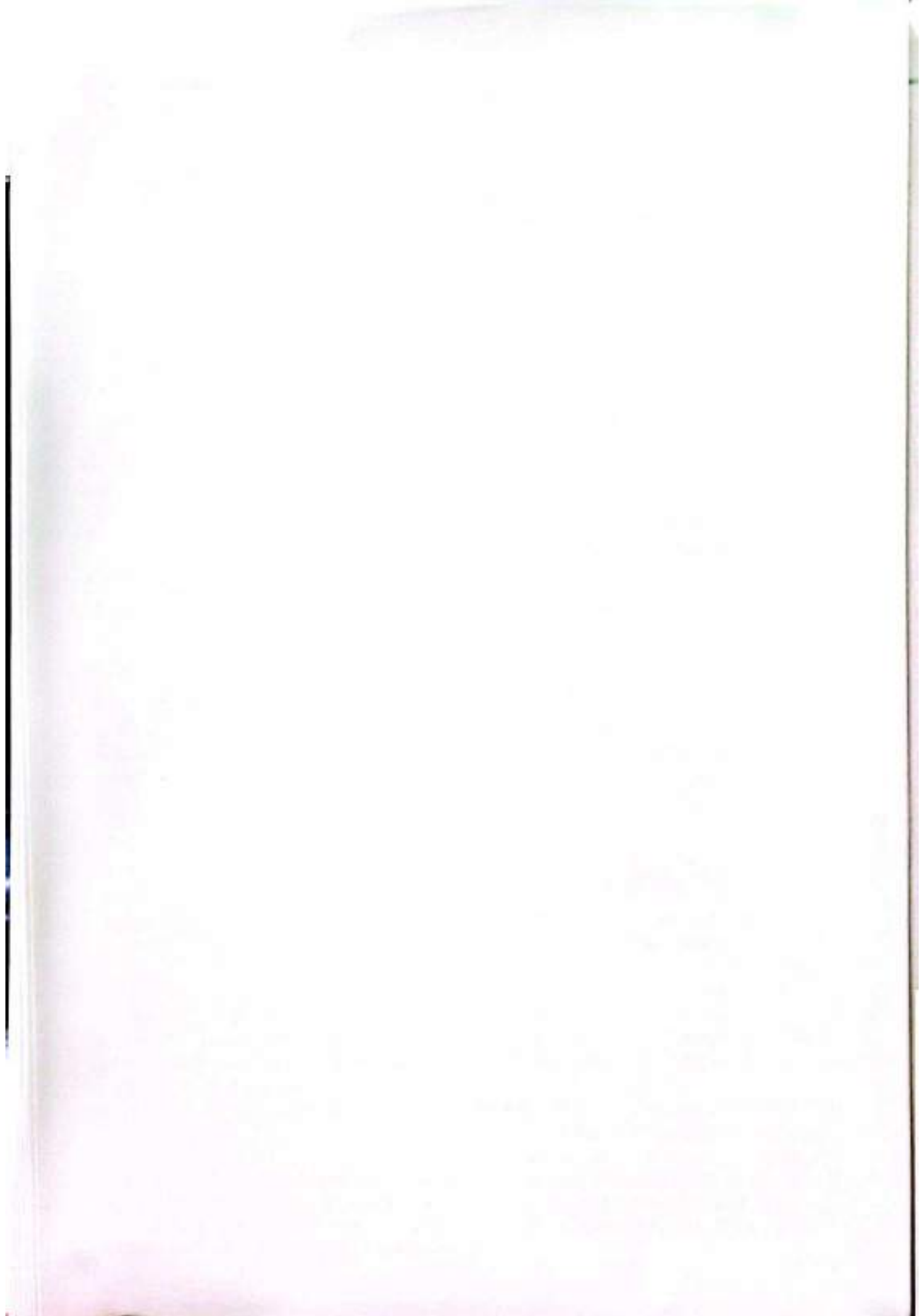
6. Anexos



Foto 1A. Periodo de floración de la papa



Foto 2A. Cosecha y selección por tratamiento



NIVELES DE BIOL DE OVINO Y BOVINO EN EL RENDIMIENTO DE LECHUGA SUIZA (*Valerianella locusta* L.)

Levels of biol of ovine and bovine in the swiss lettuce performance (*Valerianella locusta* L.)

Ochoa, R.¹

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

¹ Profesor de la materia de Bioestadística, carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

The present study their objective was to evaluate the application of different biological levels of sheep and cattle in Switzerland lettuce yield in temperate environment. The plant material used was lettuce seed variety Trophy Switzerland, The treatments were arranged in a complete block design with factorial random, the factor A was biological types (sheep and cattle) and factor B were: concentrations (0, 25, 50 and 75%). Among the most outstanding results we can say that: The major and significant Swiss lettuce yield is obtained with the application of different biological levels, with the application of 50% of biological water with 50% reporting the highest yields. It also shows that applying different levels of biological influences positively on the performance of green matter yield of lettuce Switzerland (ie biological increased application of green matter yield higher), linear trend being the most widely set, followed by the quadratic and the cubic well. In relation to the two types of biological the sheep and bovine, not had a significant difference between both so that the selection of any of them is indistinct.

Keywords: Biol, swiss lettuce, application, phytostimulant.

Resumen

El presente estudio "Niveles de biol de ovino y bovino en el rendimiento de lechuga Suiza (*Valerianella locusta* L)", se realizó en el municipio de Achocalla, tercera sección de la provincia Murillo del departamento de La Paz. El objetivo fue: Evaluar la aplicación de diferentes niveles de biol de ovino y bovino en el rendimiento de lechuga Suiza, en ambiente atemperado. El material vegetativo utilizado fue la semilla de lechuga Suiza, variedad Trophy. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial; el factor A fue los tipos de biol (ovino y bovino) y el factor B fueron: concentraciones (0, 25, 50 y 75%). Entre los resultados más sobresalientes se puede señalar que: los mayores y significativos rendimientos de lechuga Suiza se obtienen con la aplicación de diferentes niveles de biol; siendo la aplicación del 50% de biol con 50% de agua los que reportan altos rendimientos. Así mismo, se aprecia que la aplicación de diferentes niveles de biol, influye de manera positiva en el rendimiento de materia verde de la lechuga Suiza (es decir mayor aplicación de biol mayor rendimiento de materia verde), siendo la tendencia lineal la que más se ajusta; seguida de la cuadrática y no así, la cúbica. Con relación a los dos tipos de biol, (ovino y bovino), no se tuvo una diferencia significativa entre ambos, por lo que la selección de cualquiera de ellos es indistinta.

Palabras clave: Biol, lechuga suiza, aplicación, fitoestimulante.

Introducción

Actualmente se buscan diferentes alternativas para mitigar los factores adversos que presenta el clima del altiplano, los que limitan la intensificación de la agricultura; debido a esto, en los últimos años se ha intensificado la producción de hortalizas bajo ambientes atemperados como una alternativa de producción.

Los ambientes atemperados, posibilitan la formación de un microclima favorable para la producción intensiva de hortalizas; cultivándose lechugas, nabos, rábanos, etc., los que poseen gran demanda en los mercados, a lo largo del año.

Debido a que los ambientes protegidos son cubiertas que minimizan el descenso de temperaturas a niveles críticos; protegiendo las cosechas y controlar factores como riego, luz y humedad (Valdez 1997). Las hortalizas son un cultivo de gran importancia para la dieta del ser humano, debido su contenido en vitaminas y minerales; la lechuga Suiza (*Valerianella locusta* L.), es una pequeña planta empleada para la alimentación, siendo más nutritiva que la lechuga (*Lactuca sativa*) (Canónigo 2007).

Actualmente es considerada como alternativa para generar recursos económicos, ya que la misma puede ser cosechada varias veces al año, debido a su corto periodo vegetativo (50 días). Los interés actuales hacia esta especie por su valor económico, corto periodo fenológico y rusticidad; hacen necesarios realizar ensayos que coadyuven a mejorar la producción orgánica, debido a que la producción de cultivos en el Altiplano se ha ligado con mayor frecuencia, en la adición de fertilizantes químicos, con el fin de incrementar la calidad del producto cultivado y se ha dejado a un lado la fertilización natural u orgánica.

Por lo que se hace necesario dar otras opciones al agricultor para la obtención de productos

naturales que sean efectivos. La nueva corriente ecológica propone la aplicación de productos totalmente naturales, los cuales sean obtenidos mediante procesos caseros y fáciles de acceder.

El biol es considerado como un fitoestimulante complejo, aplicado a las semillas o al follaje de los cultivos, permitiendo aumentar la cantidad de las raíces e incrementar la capacidad de fotosíntesis de la plantas, mejorando así, sustancialmente la producción y la calidad de las cosechas (Medina 1992). El biol es un abono obtenido en base a la fermentación de residuos orgánicos que se aplican de manera foliar a la planta (Gomero 1999).

El presente trabajo, se realizó con el objetivo de evaluar la aplicación de diferentes niveles de biol de ovino y bovino en el rendimiento de lechuga Suiza (*Valerianella locusta* L.) en ambiente atemperado. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos; i) Evaluar el rendimiento de lechuga Suiza con la aplicación de tres niveles de biol de ovino y bovino; ii) Determinar la relación entre el nivel de aplicación del biol y el rendimiento de lechuga Suiza; iii) Comparar el tipo de biol en la evaluación del rendimiento de lechuga Suiza.

2. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el municipio de Achocalla, tercera sección de la provincia Murillo, se localiza entre las coordenadas 16°34' de Latitud Sur y 68°10' de Longitud Oeste (Montes de Oca 2004).

Se empleó semillas de lechuga Suiza variedad Valeriana Trophy, teniendo las siguientes características: pureza del 99%, humedad de 5.0%, germinación del 92%, material inerte 1%, calibre 1.75-2 mm.

El Biol aplicado fue elaborado con: 20 kg de estiércol, 1.2 kg de Alfalfa, 0.8 l de leche y 400 g de chancaca, todo esto en un volumen de 80 l de agua.

Los materiales empleados fueron: Polietileno, estiércol ovino y bovino, leche, chancaca, alfalfa, cintas de goma (neumático), nylon, medio turril de metal, baldes, machete, bidones de 20 litros, motocultor, picota, rastrillo, riego (goteo y aspersión), cinta métrica, estacas, pitas, alambre, marbetes, termómetro, carretilla y cámara fotográfica.

Metodología

El diseño experimental utilizado fue el Diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial. Asignándose 2 factores de estudio con 8 tratamientos en 4 bloques, con un total de 32 unidades experimentales.

Factor A: Bioles

- a_1 : Bovino
- a_2 : Ovino

Factor B: Niveles de Biol

- b_1 : 0 % de Biol y 100% de Agua
- b_2 : 25% de Biol y 75% de Agua
- b_3 : 50% de Biol y 50% de Agua
- b_4 : 75% de Biol y 25% de Agua

Para la fertilización foliar se usó un atomizador y se aplicó a partir de los 22 días después de la siembra, cuando existía la emisión de los cotiledones o emergencia; posteriormente se aplicó por semana; es decir, a los 29, 36 y 43 días después de la siembra.

La cosecha, se realizó cuando el cultivo estaba en la fase de emisión de hojas comerciales, cortando el cuello de la planta.

El modelo lineal aditivo que se utilizó es la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \gamma_j + \alpha\gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$i = 1, 2, \dots a$ de factor A

$j = 1, 2, \dots b$ de factor B

$k = 1, 2, \dots r$ de bloques

Donde: Y_{ijk}

= Valor de una variable de respuesta de la unidad experimental ubicada en el k -ésimo bloque y que recibe el i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B

μ = Constante o Media común

β_k = Efecto aleatorio del k -ésimo bloque
 $\beta_k \sim DNII(0, \sigma_r^2)$

α_i = Efecto fijo del i -ésimo factor A (Bioles)

γ_j = Efecto fijo del j -ésimo factor B (Concentraciones)

$\alpha\gamma_{ij}$ = Efecto fijo de la interacción del i -ésimo factor A y j -ésimo factor B (interacción Biol x Concentración)

ε_{ijk} = Efecto aleatorio del residuo

$\varepsilon_{ijk} \sim DNII(0, \sigma_e^2)$

Se consideró como variable de respuesta: el Rendimiento en materia verde (g/m^2).

Supuestos del análisis de varianzas

Se realizó las pruebas de supuestos del Análisis de Varianza, como ser: La prueba de homogeneidad de varianzas de O'Brien y, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (basada en los residuos).

Análisis del diseño como modelo fijo y mixto

Para la determinación de si el diseño está bien empleado se realizó el análisis en función de modelos mixtos, considerando a los bloques y al residual como efectos aleatorios.

Contrastes ortogonales

Para la determinación de la tendencia de la aplicación de los diferentes niveles de biol, sea esta lineal, cuadrática y cubica se empleara

los coeficientes mencionados en Steel y Torrie (1992):

Cuadro 1. Coeficientes para comparaciones ortogonales

Nº Trat	Grado	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
4	Lineal	-3	-1	+1	+3
	Cuadrática	+1	-1	-1	+1
	Cúbica	-1	+3	-3	+1

Fuente: Steel y Torrie (1992)

3. Resultados y discusión

a. Supuestos del ANVA

En el Cuadro 1 y Figura 1, se aprecia los valores de probabilidad de las dos pruebas realizadas. Donde para la prueba de homogeneidad de varianzas de O'Brien, podemos afirmar con un 95% de probabilidad de que las varianzas de los tratamientos son iguales o son homogéneas. En el caso de la prueba normalidad de Shapiro-Wilk, con un 99% de probabilidad podemos afirmar que los valores de rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^2$) presentan una distribución normal. Cumpliéndose ambos supuestos del ANVA.

Cuadro 2. Supuestos del ANVA

Variable	O'Brien	Shapiro-Wilk
Rendimiento (g/m^2)	0.8786	0.0146

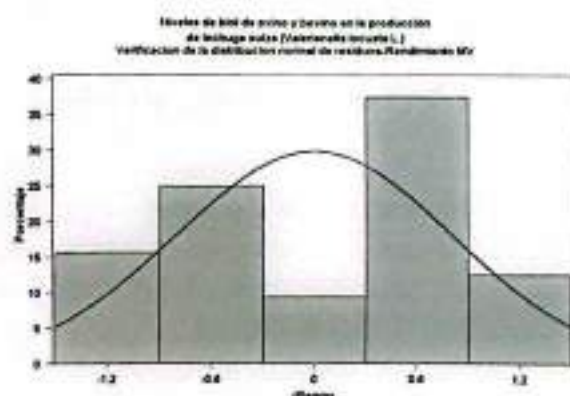


Figura 1. Histograma de residuos

Análisis del diseño

El diseño como modelo mixto fue bien empleado, ya que ambos efectos aleatorios poseen estimadores mayores a cero, haciendo que el diseño propuesto en el experimento gane en precisión.

Cuadro 3. Estimadores de parámetros de covarianza

Variable	Bloques	Residual
Rendimiento (g/m^2)	0.6394	0.1393

b. Rendimiento (g/m^2)

i. Modelo fijo

En el análisis de varianza como modelo fijo (Cuadro 3) se aprecia que las fuentes de variación Biol y Biol*Nivel no presentan significancia; en tanto los Bloques y Nivel presentan significancia ($P < 0.01$).

Cuadro 4. Valores de F para el rendimiento de lechuga Suiza

FV	F-valor	Pr > F
Bloque	40.81	< 0.0001 *
Biol	2.89	0.1039 NS
Nivel	13.13	< 0.0001 *
Biol*Nivel	0.11	< 0.9536 NS

En la comparación de medias, se observa que aplicación de 50% de biol obtuvo el mayor y significativo rendimiento, en tanto que el testigo (0% de biol), fue el que obtuvo el promedio más bajo de rendimiento (Figura 2).

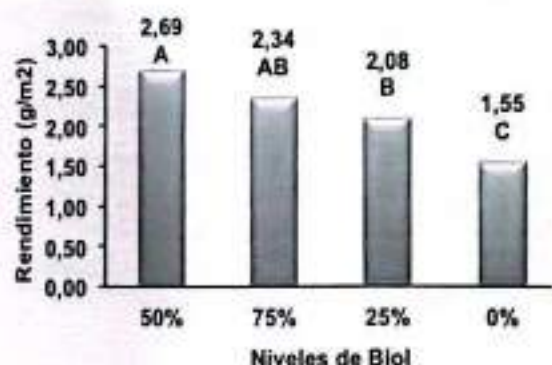


Figura 2. Prueba de medias del rendimiento de lechuga Suiza

ii. Modelo mixto

El rendimiento ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) no presentó diferencias significativas para los factores Biol, Biol*Nivel, pero si registran diferencias con una probabilidad del 99% para la fuente de variación Nivel (Cuadro 4).

Cuadro 5. Prueba de tipo 3 para efectos fijos del largo de hoja

FV	F-valor	Pr > F
Biol	2.89	0.1039 NS
Nivel	13.13	<.0001*
Biol*Nivel	0.11	0.9536 NS

Los resultados del análisis por contrastes ortogonales, presentan significancia para las funciones Lineal ($P = < 0.0001$) y Cuadrática ($P=0.0032$), y no así para la función Cubica ($P=0.0925$), es decir que las funciones a las que más se ajustan los rendimientos de materia verde con la aplicación de diferentes niveles de biol son la lineal y la cuadrática (Cuadro 5):

Cuadro 6. Prueba de tipo 3 para efectos fijos del largo de hoja

Etiqueta	F-valor	Pr > F
Nivel-Lineal	25.19	<.0001*
Nivel-Cuadrática	11.40	0.0032*
Nivel-Cubica	3.11	0.0925NS

Considerando el ajuste lineal se observa que se tendrá la siguiente ecuación:

$$Renmv = 1.72054 + 0.01185\text{Nivel}$$

Siendo significativa la influencia del Nivel de biol sobre el rendimiento ($0.0383 < 0.05$), es decir el rendimiento está asociado a la aplicación del biol, donde por cada 1% que se incremente la aplicación de biol se tendrá un incremento en el rendimiento en $0.01185 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (Figura 3).

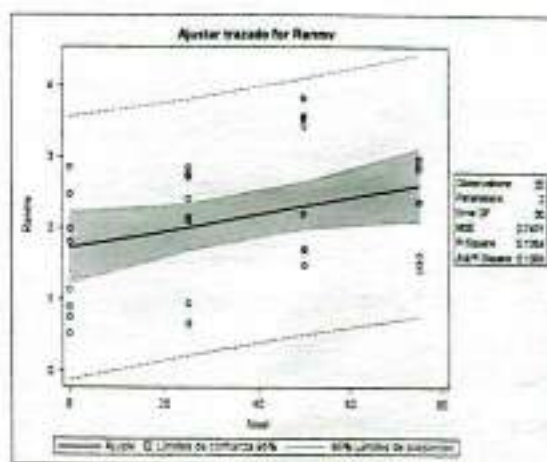


Figura 3. Ajuste lineal del rendimiento de lechuga Suiza

Considerando el ajuste cuadrático se obtiene la siguiente ecuación:

$$Renmv = 1.501 + 0.038\text{Nivel} - 0.0003\text{Nivel}^2$$

No siendo significativa la influencia del Nivel de biol sobre el rendimiento ($P > 0.05$), donde se tiene un incremento del rendimiento de materia seca de lechuga Suiza, hasta un punto máximo, y posteriormente se tiene un descenso debido a los diferentes niveles de biol (Figura 4).

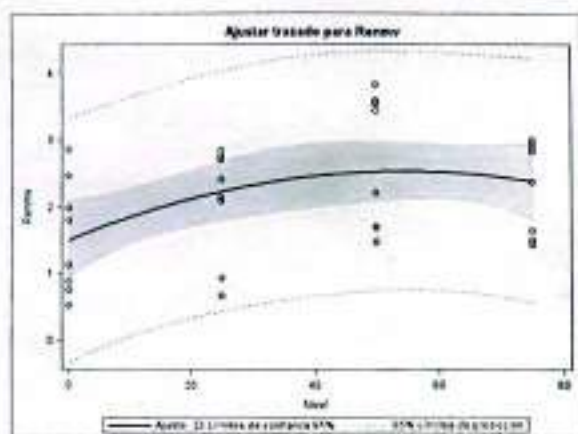


Figura 4. Ajuste cuadrático del rendimiento de lechuga Suiza

Observando ambas ecuaciones, se puede afirmar que el rendimiento de lechuga Suiza se incrementará linealmente con el incremento de niveles de biol, pero reducirá cuadráticamente a partir de cierto nivel de biol.

Siendo el nivel óptimo de biol:

$$X = \frac{-\beta_1}{2\beta_2} = \frac{-(0.038)}{2(-0.0003)} = 63.33\%$$

El nivel óptimo de biol es de 63.33% y 36.67% de agua.

4. Conclusiones

Los rendimientos de lechuga Suiza son mayores con la aplicación de diferentes niveles de biol, siendo la aplicación de 50% de biol y 50% de agua los que presentan rendimientos significativos con relación a los otros niveles.

La aplicación de diferentes niveles de biol influyen de manera directa en el rendimiento de materia verde de la lechuga Suiza, obteniéndose el mayor rendimiento con la aplicación de 50% de biol.

No se tiene una diferencia entre el tipo de biol de ovino o bovino, por lo que la selección de uno

de ellos es indistinta.

Se rechaza la hipótesis que sostiene que los niveles de aplicación de biol no influyen en el rendimiento de lechuga Suiza (H_0), y se acepta la hipótesis que señala que los niveles de biol afectan en el rendimiento de lechuga Suiza (H_1).

5. Referencias bibliográficas

Canónigo. 2007. Portal en Alimentos.

Gomero, O. 1999. Manejo Ecológico de Suelos, Conceptos y Técnicas. Ed. Gráfica Esteffany. Lima-Perú. p. 189-201.

Medina, J. 1998. Riego por Goteo. Ed. Mundi Prensa. Cochabamba, Bolivia. p. 15-18.

Montes de Oca. 2004. Enciclopedia geográfica de Bolivia. Atenea. La Paz, Bolivia. 871 p.

Steel, R. y Torrie, J. 1992. Bioestadística: Principios y procedimientos. McGraw-Hill. México. 622 p.

Valdez, G. 1997. Producción en Invernaderos. Ed. Águila. Puno, Perú. p. 50.

EVALUACION GERMINATIVA DE ESPECIES FORRAJERAS NATIVAS DEL ALTIPLANO NORTE

Germinative evaluation of crops native species of north highlands

Quispe, E.¹

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad
Pública de El Alto

Investigador de la carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

The results of the germination of eight native species of forage from the northern highland of Bolivia is reported here. Native forage is the basis of livestock feeding in restricted times. In the case of camelids, native prairie provides 100% of their nutritional requirements for their development and survival (Alzérreca 2000). We evaluated the morphological characteristics and quantitative performance of germination of eight native forage species from northern Altiplano of Bolivia. The study took four months after harvest. The study was established using a completely randomized design with three replications. For individual species: seed color, seed shape, seed size, percentage of purity, germination percentage, and days to germination, size radicle and hypocotyls were analyzed. The analysis of variance for germination percentage and days to germination showed significances for all species, the size of hypocotyl and root showed no significant differences in some species.

Keywords: Native forage, germination, highland

Resumen

Se presentan los resultados de la germinación de ocho especies forrajeras nativas del altiplano norte de Bolivia, esta es la base para la alimentación ganadera en épocas desfavorables. En caso de los camélidos, la pradera nativa aporta el 100% de sus requerimientos nutricionales para su desarrollo y sobrevivencia (Alzérreca 2000). Se evaluaron las características morfológicas y cuantitativas de la germinación de ocho especies forrajeras nativas, durante cuatro meses después de la cosecha, utilizando un diseño experimental completamente aleatorio con tres repeticiones para estimar los parámetros estadísticos. Por especie individual se analizaron los siguientes caracteres: color, forma y tamaño de la semilla, porcentaje de pureza y germinación, días a germinación, tamaño de la radícula e hipocotilo. Los análisis de varianza para porcentaje de germinación y días a germinación mostraron significancias para todas las especies, el tamaño de hipocotilo y radicular no mostraron diferencias significativas en algunas especies investigadas.

Palabras clave: Forraje nativa, germinación, altiplano.

1. Introducción

Las praderas del Altiplano boliviano, en especial el altiplano Norte están constituidas de especies pratenses, donde las condiciones edáficas, fisiográficas y climatológicas han marcado cambios sucesivos durante los últimos años. Estos cambios del ambiente son desfavorables para la producción agrícola y pecuaria debido a que conllevan a mayores riesgos de heladas y sequías, acompañados de altos grados de erosión y baja fertilidad del suelo (García, 1996). El presente trabajo de investigación se realizó para describir y determinar sus cualidades fenotípicas y genotípicas para conservar las praderas con especies nativas, así poder alimentar a las diferentes especies de animales y otras utilidades para el agricultor en el marco de la conservación de especies forrajeras nativas, con el objetivo de evaluar las características germinativas de ocho especies forrajeras nativas del Altiplano Norte, para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos: i). Identificar las características morfológicas de las semillas forrajeras nativas (tamaño, color, forma y pureza); ii) Determinar el porcentaje de germinación, días de germinación de las especies forrajeras nativas; iii) Determinar el crecimiento del tamaño radicular y del hipocotilo de las especies forrajeras

2. Materiales y métodos

La investigación se realizó en el laboratorio de química de la carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto. Los materiales utilizados fueron de escritorio, campo y genético. La metodología utilizada fue descriptivo cualitativo y evaluación de datos cuantitativos, donde el procedimiento experimental se realizó de la siguiente manera:

Identificación de especies: se evaluó especies de mayor importancia forrajera para el consumo de ganado y usos en diferentes actividades.

Colecta de semillas: las semillas se obtuvieron directamente por medio de la recolección de frutos maduros de las diferentes especies durante la gestión 2009.

Pruebas de germinación: para evaluar la germinación se dividió en cuatro meses con tres repeticiones para cada una de las especies. Primero se contó la cantidad de semillas sanas para la germinación, limpieza de las placas petri, papel filtro y colocado de papel filtro, luego se llevó a la cámara germinadora y se realizó el mismo procedimiento para cada especie objeto de estudio (evaluados independientemente).

Se utilizó el diseño experimental completamente aleatorio por la uniformidad de semillas y condiciones controladas del ambiente. Se realizó el análisis de varianza y prueba de promedios Duncan para los resultados obtenidos.

3. Resultados y discusión

Se analizó los resultados obtenidos de la prueba de germinación en el laboratorio y la descripción de las semillas, evaluados individualmente en función a cuatro tratamientos (meses).

Crespillo (*Calamagrostis vicunarium*): originaria de Los Andes, perenne, raíces fibrosas, inflorescencia en panícula, reverdece y florece en época de lluvias (diciembre a marzo), muy rústica. Se desarrolla en suelos pobres, franco-limosos, de buen drenaje, resistiendo bien a la sequía y las heladas (Ruiz 1987). Alimento base para vicuñas, alpacas, llamas; forrajera de primer orden para alpacas (Tapia y Flores 1984). Las descripciones morfológicas de la semilla fueron de: color café amarillento, forma elíptica, tamaño de la semilla 3x1 mm y 80.99% de pureza.

Cuadro 1. ANVA, para variables cuantitativas en relación a la especie *Calamagrostis vicunarum*.

FV	GL	Cuadrados medios			
		PG	DG	TR	TH
Tratamientos	3	734.44**	5.42**	0.85**	0.43n.s.
Error	8	26.92	0.33	0.02	0.14
C.V.		6.95%	13.07%	8.53%	13.00%

Porcentaje de germinación: presentó diferencias altamente significativas al 1% entre los tratamientos, corroborando con prueba de promedios Duncan el grupo A compuesto por el 4to y 3er mes resulto ser las más diferenciales porque obtuvieron los mayores porcentajes en la germinación de 88.33 y 87.33%.

Días a germinación: mostro diferencias altamente significativas entre los cuatro tratamientos al 1%, donde el grupo B germinó a pocos días que comprende el 4to y 3er mes.

Tamaño de la radícula: presentó diferencias altamente significativas al 1%, donde el grupo A, agrupado del 4to mes tuvo 2.27 cm, similar al 3er mes de 2.07 cm de mayor crecimiento en el tamaño radicular a 21 días de germinación.

Tamaño del hipocotilo: no muestra diferencias significativas al 5% en los cuatro meses de investigación.

Cebadilla shockla (*Bromus catharticus*): originaria de Sudamérica, perenne, de 60 cm de altura; hojas basales y limbo laminar, pilosas, inflorescencia en panojas de 15 a 30 cm, erectas o ligeramente postradas, se desarrollan en suelos ricos (Ruiz 1987). Crecen en cualquier época del año y forma pastizales muy densos, vive en campos fértiles, poblaciones y caminos. Su propagación es por semillas. Crece en laderas, productiva y apetecible para consumo del ganado (Flores 1997).

Las descripciones morfológicas de la semilla fueron de: color canela, elíptico, 6x2 mm y 86% de pureza.

Cuadro 2. ANVA, para variables cuantitativas en relación a la especie *Bromus catharticus*.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		PG	DG	TR	TH
Tratamientos	3	105.64*	2.00**	5.24**	0.995n.s.
Error	8	19	0.08	0.51	0.64
C.V.		6.31%	7.87%	10.52%	7.82%

Porcentaje de germinación: presento diferencias significativas al 5% en los cuatro meses, donde en el 4to mes se tuvo 77.33%, mayor porcentaje de germinación correspondiente al grupo A.

Días a la germinación: presento diferencias altamente significativas al 1% en los cuatro meses, el grupo C perteneciente al 4to y 3er mes germino a pocos días de su siembra.

Tamaño de la radícula: presento diferencias altamente significativas al 1% en el tamaño radicular a 21 días de germinación entre los tratamientos. El grupo A con 7.72 cm al 4to mes y 8.14 cm el 3er mes expresaron mayor crecimiento en el tamaño radicular.

Tamaño del hipocotilo: no presento diferencias significativas al 5% en los cuatro meses de estudio.

Iru ichu (*Festuca orthophylla*): especie nativa del oeste de Sudamérica, perenne de 15-30 cm de altura, forma densas matas; hojas fuertemente rígidas, punzantes de 5-12 cm de largo, inflorescencia paniculada lineal; florece en verano, se desarrolla en suelos secos arenosos, pedregosos o arcillosos y forma parte de tólares

y pajonales de la superficie del suelo. Se usa como forraje para el ganado, construcciones, leña, alimentos, medicina (Tovar 1998). Las descripciones morfológicas de la semilla fueron de: color pardo claro, oblonga, 3.05 x 1mm y 78% de pureza

Cuadro 3. ANVA, para variables cuantitativas en relación a la especie *Festuca orthophylla*.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		PG	DG	TR	TH
Tratamientos	3	45.19**	25.46**	0.40**	2.26*
Error	8	4.42	1.92	0.05	0.31
C.V.		15.27%	17.76%	19.85%	17.19%

Porcentaje de germinación: el porcentaje de germinación mostro diferencias altamente significativas al 1% entre los tratamientos investigados. El grupo A que integran el 4to mes con el 17% y 3er mes con el 16,33%, expresaron mayor porcentaje de germinación.

Días a la germinación: presenta diferencias altamente significativas al 1% entre los cuatro meses, el 4to mes germino a los 3.67 días correspondientes al grupo B.

Tamaño de la radícula: presento diferencias altamente significativas al 1% entre los meses de estudio, donde el cuarto mes registro 1.55 cm y el 3er mes con 1.32 cm de longitud: En el grupo A, el mayor tamaño radicular a los 21 días de germinación se registro.

Tamaño del hipocotilo: el análisis de varianza, mostro diferencias significativas al 5% en el tamaño de hipocotilo en los cuatro meses, donde el grupo A que comprende al 4to mes con 3.41 cm y 3er mes de 4.23 cm y el primer mes de 3.20 cm mostraron mayor crecimiento en el tamaño del hipocotilo a los 21 días de germinación.

Chilliwa (*Festuca dolichophylla*): planta de matas densas de 40 a 110 cm de altura, ramificado desde la base, habita en Bolivia en pajonal de punas y en suelos profundos poco húmedos, apetecida tanto por alpacas, ovejas, llamas, vacunos (Linares 1995).

Las descripciones morfológicas de la semilla fueron de color café claro, oblongo 3 x 1,5 mm y 90% de pureza.

Cuadro 4. ANVA, para variables cuantitativas en relación a la especie *Festuca dolichophylla*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		PG	DG	TR	TH
Tratamientos	3	1302.75**	4.97**	0.64*	2.63**
Error	8	57.33	0.42	0.09	0.04
C.V.		17.24%	13.59%	30.00%	8.96%

Porcentaje de germinación: el porcentaje de germinación presento diferencias altamente significativas al 1%, con 72,67% de germinación en el grupo A al cuarto mes.

Días a germinación: los días a germinación presentan diferencias altamente significativas al 1%. El tratamiento a los cuatro meses germino a 3 días y el primer mes a 6 días (Anexo 2).

Tamaño de la radícula: el tamaño de la radícula muestra probabilidades estadísticas significativas al 5%, existiendo diferencias en el tamaño de la radícula entre los tratamientos (Anexo 3).

Tamaño del hipocotilo: presento diferencias altamente significativas al 1% en el tamaño del

hipocotilo entre los cuatro meses, teniendo 3,20 cm y el tercer mes logrando 3,11 cm de longitud el grupo A, mostrando mayor crecimiento del tamaño de hipocotilo.

Alfilla (*Melilotus indicus*): naturalizado en América (Carlo 2010). Hierba erecta muy ramificada de 30-50 cm de altura, tallo piloso, hojas lanceolados, flores amarillas, el fruto es una legumbre, florece cada primavera, crece en zonas arenosas, arcillosas en suelos con bastante nitrógeno y removidos (Menéndez 2007).

Las descripciones morfológicas de la semilla fueron de: color café claro, ovalo, 3 x 1.5 mm y un 78% de pureza.

Cuadro 5. ANVA, para variables cuantitativas en relación a la especie *Melilotus indicus*.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		PG	DG	TR	TH
Tratamientos	3	57.01**	6.89*	1.10*	2.53*
Error	8	3.37	0.96	0.2	0.39
C.V.		18.05%	24.50%	24.8%	21.53%

Porcentaje de germinación: muestra diferencias altamente significativas al 1% entre los tratamientos, donde el cuarto mes presento 16% de germinación en el grupo A y, el menor porcentaje de germinación se presento en el grupo C.

Días a germinación: muestra diferencias significativas al 5% en los cuatro meses, germinado a los 2.67 días después del almacenado del grupo B.

Tamaño de la radícula: el crecimiento del tamaño radicular muestra diferencias significativas al 5% entre los tratamientos, donde el grupo A mostro el desarrollo del mayor tamaño radicular a los 21 días de germinación: En el cuarto mes desarrollo 2.41 cm y tercer mes con 2.07 cm, en comparación al otro grupo.

Tamaño del hipocotilo: el tamaño del hipocotilo muestra diferencias significativas al 5%, donde se observa que al menos una de ellas es diferente que el grupo A presenta mayor tamaño.

Sikuya (*Stipa ichu*): planta de altas montañas a lo largo de las cordilleras, pasto del altiplano andino sudamericano, empleado como forraje para el ganado, herbácea, erguida y densamente cespitosa, inflorescencia es una panícula abierta y densa, florece en la época de lluvias. Crece en laderas de cerros, quebradas, lomadas, pampas, orillas de los ríos y otros (Tovar 1998).

Las descripciones morfológicas de la semilla fueron de: color café claro, elíptica alargada, 2 x 1.5mm y 55% de pureza.

Cuadro 6. ANVA, para variables cuantitativas en relación a la especie *Stipa ichu*.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		PG	DG	TR	TH
Tratamientos	3	85.89**	9.89*	0.01n.s.	0.62**
Error	8	6.67	1.67	0.01	0.06
C.V.		12.60%	17.21%	26.99%	15.77%

Porcentaje de germinación: los datos sometidos a análisis de varianza del porcentaje de germinación muestran diferencias altamente significativas al 1%, el grupo A presenta mayor porcentaje de germinación de 28% que pertenece al cuarto mes.

Días a germinación: muestra diferencias significativas al 5% entre los tratamientos, como se observa en el cuarto mes la germinación a pocos días de 5.67 días después del almácigo.

Tamaño de la radícula: muestra diferencias no significativas al 5% entre los cuatro meses investigados en el tamaño de la radícula a 21 días de germinación, con un coeficiente de variabilidad de 26.99%.

Tamaño del hipocotilo: es altamente significativa al 5%, se muestra resultados claramente divididos en dos grupos comprendidos la primera de mayor crecimiento del tamaño de hipocotilo hasta los 21 días de germinación.

Cola de ratón (*Hordeum muticum*): especie nativa de América del Sur, perenne de 15-45 cm de altura, lamina plana, suave, panícula densa, plomiza, 3 espiguillas, el central es fértil, crece en humedales, baja densidad de pastoreo, se utiliza para el consumo de ganado, sobre todo en alpacas y asnos (Vargas 1998).

Las descripciones morfológicas de la semilla fueron de: color plomo claro a oscuro, oblonga, 3x 1mm y 82% de pureza.

Cuadro 7. ANVA, para variables cuantitativas en relación a la especie *Hordeum muticum*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		PG	DG	TR	TH
Tratamientos	3	625.22**	17.64**	0.12n.s.	2.96**
Error	8	15.67	1.17	0.04	0.97
C.V.		7.54%	17.28%	17.29%	15.34%

Porcentaje de germinación: el porcentaje de germinación muestra diferencias altamente significativas al 1%, se muestra a los datos divididos en dos grupos muy diferentes, donde el conjunto A muestra alto porcentaje de germinación en comparación al grupo B.

Días a germinación: se muestra diferencia altamente significativa al 1% en los cuatro

meses, donde se expone con claridad al grupo "A" la que más se retraso en comparación al grupo B que germino precozmente después del almácigo.

Tamaño de la radícula: el crecimiento del tamaño radicular presenta diferencias no significativas al 5% en los cuatro meses, los datos obtenidos se muestra al cuarto mes con

1.4 cm de crecimiento radicular, el tercer mes con 1.07 cm, el primer mes con 1.04 cm y por último al segundo mes con un promedio de crecimiento radicular de 0.95cm hasta los 21 días de germinación.

Tamaño del hipocotilo: es altamente significativa al 1% en los cuatro meses donde se muestra dos grupos diferentes el primero "B" de menor crecimiento en el tamaño del hipocotilo que integran el primer mes de 2.56 cm y el segundo mes de 2.55 cm, en comparación al grupo "A".

Atriplex (Atriplexhalimus): arbusto forrajero de la familia Chenopodiaceae, absorben sales

de suelos salinos, perenne herbácea de hábito postrado, tronco leñoso en la base, hojas alternas, raramente opuestas, flores masculinas y hermafroditas, vive en altas radiaciones solares y suelos arenosos, resistente a las heladas de hasta - 10 °C (García 2007). Comestible y de interés forrajero, soporta grandes sequías, evita muerte del ganado bajo condiciones de sequedad, palatabilidad, ausencia de componentes tóxicos y sería interesante introducirlas en zonas de alto riesgo de incendio (Vargas 1998).

Las descripciones morfológicas de la semilla fueron de: color blanquecino, redondos planos, 1.5 x 1mm y 82% de pureza.

Cuadro 8. ANVA, para variables cuantitativas en relación a la especie *Atriplex halimus*

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		PG	DG	TR	TH
Tratamientos	3	311.42**	6.53*	0.002n.s.	0.19n.s.
Error	8	35.08	1.2	0.02	0.14
C.V.		8.85%	23.9%	9.63%	13.93%

Porcentaje de germinación: muestra diferencias altamente significativas al 1% en los cuatro meses, se observa dos conjuntos la "A" que corresponde al cuarto mes con un 76.67% y el segundo mes con 74% ambos tratamientos con el alto porcentaje de germinación que tienen una diferencia significativa en comparación al grupo "B" que tuvieron menor porcentaje de germinación.

Días a germinación: demuestran diferencias significativas al 5% en los cuatro meses.

Tamaño de la radícula: muestra diferencias no significativas al 5% en los cuatro meses.

Tamaño del hipocotilo: presenta diferencias no significativas al 5%, con un coeficiente de variabilidad de 13.93%.

4. Conclusiones

En conclusión los resultados sobresalieron en el cuarto en cuanto al porcentaje de germinación, días a germinación, tamaño radicular e hipocotilo, salvo en algunos casos como se muestra en resultados, se mostro mayor crecimiento del tamaño radicular e hipocotilo en el tercer mes.

Por otra parte mencionar que presentaron significancia en los cuatro meses la gran parte de los datos obtenidos en la investigación.

5. Agradecimientos

A la Universidad Pública de El Alto y a la Carrera de Ingeniería Agronómica por darme la oportunidad de integrar la presente

investigación en la publicación de la revista agronómica y a los asesores Ing. Ramiro R. Ochoa, Ing. Eddy D. Gutiérrez por apoyarme en la redacción y corrección de la investigación.

6. Referencias bibliográficas

- Alzerreca, H. 2000. Campos nativos de pastoreo Bolivia. La Paz-Bolivia 136 p.
- Botero, 1999. Algunas consideraciones sobre pastos y forrajes, Miniagricultura, Bogotá-Colombia 7-8 p.
- Flores, A. 1997. Manejo de pastos naturales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 195 p.
- Linares, E. y Benavides, M. A. 1995. Flora silvestre del transecto Yura-Chivay, Departamento de Arequipa. Boletín de Lima N° 100: 211-254.
- Menéndez, J. L. 2007. Descriptions *Melilotus indicus* (L). 157 p.
- Tapia, M. y Flores, J. 1984. Pastoreo y pastizales de los Andes del Sur del Perú. INIPA. Edit. Adolfo Artela Lima. 415-417 p.
- Tovar, O. 1988. Revisión de las especies del género *Stipa* Resumen Opusc. Botánica Pharm. Complutensis: Lima.75-106 p.
- Vargas, D. 1998. Flora y vegetación altoandina (Tisco-Caylloma). Tesis para optar al título profesional de biólogo. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 236 p.

SISTEMA DE RIZOFILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL URBANA

Rizofiltration system for the treatment of urban residual water

Mamani, S.¹; Ayala, A.²

Instituto de Investigación y Extensión Agrícola (IINEA), carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

Investigador de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Pública de El Alto

Responsable de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Ciudad de El Alto, Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento

Recibido el 30 de noviembre de 2012 y aprobado el 29 de julio de 2013

Abstract

The residual water of the district seven of the El Alto City is evacuated to beds of rivers that go by the place (rivers: Seke and Seco), causing a hydric contamination. To mitigate this problem, a Pilot plant was settled down, in which was carried out a study about the efficiency of treatment of the rizofiltration system that used the properties of the macrófita *Phragmites australis*. The objective of the study was to evaluate the efficiency of the treatment system, for that, physico-chemical-biological analysis was performed, also the behavior of the macrófita for quantitative measurements of nutritious in the mass of biomass of leaves and roots. The organic load reached to $3.45 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$, which was reduced by rizofiltration system to $0.13 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$, the DBO5 had a decrease of 93.46%, the DQO diminished in 84.95%, the nitrogen was reduced in 74%, and the phosphorous in 75.83%. During the study, the macrófita became well adapted to the climatic conditions of the area, beginning with a population of 182 shoots and ending with 1.273 units for channel and reaching heights between 30.13 and 150.65 cm. The rizofiltration system reaches 96.16% of efficiency in the purification of the residual waters, diminishing organic, nutritious matters and allowing an oxygen addition in the treated residual water. To improve this efficiency it should be added primary systems that can help sedimentation of the organic matter.

Key words: Waste water, rizofiltration, *phragmitesaustralis*, removal.

Resumen

Las aguas residuales del distrito 7 de la ciudad de El Alto, son evacuadas a cauces de ríos que pasan por el lugar (ríos Seke y Seco), causando una contaminación hídrica. Para mitigar este problema se estableció una Planta Piloto, en el cual se realizó un estudio sobre la eficiencia de tratamiento del sistema de rizofiltración que emplea las bondades de la macrófita *Phragmites australis*, para tal efecto, se realizaron: análisis de los parámetros físico-químicos-biológicos del afluente y efluentes, seguimiento del comportamiento de la macrófita por medidas cuantitativas y análisis de nutrientes en la masa foliar y radicular. Se determinó una carga orgánica en el afluente de $3.45 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$, el cual fue reducido por el sistema de rizofiltración a $0.13 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$. La DBO5 tuvo una disminución del 93.46%, la DQO disminuyó en 84.95%, el nitrógeno fue reducido en 74%, y el fósforo en 75.83%. Durante el tiempo de investigación, la macrófita se adaptó a las condiciones climáticas del sector, iniciando con una población de 182 tallos que culminó con 1273 unidades de tallos por lecho y alcanzando alturas entre 30.13 y 150.65 cm. El sistema de rizofiltración alcanzó 96.16% de eficiencia en la depuración

de las aguas residuales, disminuyendo materias orgánicas, nutrientes y permitiendo una adición de oxígeno en el agua residual tratada. Para mejorar esta eficiencia se le debe adicionar sistemas primarios que ayuden en la sedimentación de la materia orgánica.

Palabras Clave: Agua residual, rizofiltración, *phragmites australis*, remoción.

1. Introducción

La utilización del agua dulce por la actividad industrial, municipal, comercial, de servicios, agrícola, pecuaria y doméstica, producen aguas servidas, las cuales se descargan al sistema de alcantarillado, sin tener un previo tratamiento de las mismas, esta composición variada genera las aguas residuales brutas (Castro 2008). En el municipio de El Alto, las aguas residuales (AR) son evacuadas a un sistema de alcantarillado que desemboca a la planta de tratamiento que funciona en la comunidad de Puchukollo Bajo (Municipio de Laja), que tiene una capacidad de tratamiento aproximado de 430 l/s. Las zonas que se encuentran a una altitud menor y distante al de Puchukollo no pueden evacuar las AR a la planta de tratamiento como es el caso del distrito siete, que vierte sus AR en ríos aledaños, como son: río seke y río seco, conduciendo estas a sectores agrícolas del altiplano.

El vertido de agua residual a cauces de ríos, provoca la contaminación de los mismos, provocando daños y molestias a los consumidores que se encuentran en las áreas rurales, contaminando sus cultivos, causando enfermedades al ganado y a la salud de los pobladores, ya que estudios realizados en distintos países del viejo y nuevo mundo, han demostrado que existe daños a la salud en el consumo de hortalizas y otros vegetales regados con aguas de ríos que estén contaminadas por AR especialmente por la parte bacteriológica, el AR no puede ser vertido a cauces de ríos sin tener un tratamiento previo y estar dentro de parámetros establecidos por la ley 1333 (Ley y Reglamento del Medio Ambiente). El sistema de humedales artificiales se desarrolló como tratamiento secundario o terciario, los cuales son construidos para la depuración de

AR, generalmente se consideran humedales a aquellos sistemas que usan macrófitos (Lahora 2001).

Los humedales artificiales tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar y son, estéticamente, agradables a la vista (Llagas y Guadalupe 2006).

Los objetivos del presente estudio fueron los siguientes: i) Identificar taxonómicamente la especie empleada en el sistema de rizofiltración; ii) Determinar los parámetros Físico-Químico y Biológico en el afluente; iii) Determinar los parámetros Físico-Químico y Biológico en los efluentes; iv) Evaluar la proliferación vegetativa de la especie empleada en el sistema de rizofiltración; v) Determinar la eficiencia de tratamiento del sistema de rizofiltración.

Materiales y métodos

El área de intervención se ubicó en la Unidad Vecinal "G" de la Urbanización Bautista Saavedra, distrito siete de la ciudad de El Alto, en la intersección entre la avenida Bautista Saavedra con las calles río Itau y río Camatinti. Esta ubicación está determinado como área verde que tiene una extensión de 950 m² de las cuales el 33% se destinó para la planta piloto, las coordenadas están determinadas mediante la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), referidas al sistema geodésico mundial WGS-84 que corresponden a Latitud Este 581.958 y Longitud Oeste 8.176.403 y una elevación de 3.959 m.s.n.m. a una distancia aproximada de 8.55 km de la ceja de El Alto.

Descripción del sistema de tratamiento

La fuente de alimentación de agua residual (AR) corresponde al sistema de alcantarillado de la avenida Bautista Saavedra y en su dirección de cauce se instaló la planta piloto.

El sistema de rizofiltración cuenta con un desarenador, en donde se retiene partículas más pesadas, normalmente de diámetro superiores a 0.20 mm y a manera de desbaste se instaló una luz de malla en el paso de agua residual. Estos pretratamientos o tratamientos previos son comunes en los diferentes sistemas de depuración.

Estos tratamientos previos tienen como objetivo principal, eliminar del AR todos aquellos elementos que por su naturaleza o gran tamaño pueden afectar al correcto funcionamiento de los tratamientos posteriores, normalmente por formación de sedimentos, abrasión o atascos.

Posterior a los procesos de pretratamiento comienza el tratamiento primario, donde actúan los lechos de tratamiento por rizofiltración (Ver Anexos. Archivo Fotográfico).

Características del lecho de tratamiento por rizofiltración

El sistema de tratamiento por rizofiltración comprende la instalación de una estructura de hormigón armado donde se incorpora un filtro de arena de diferente granulometría separada por tres capas: **capa superior** con una altura de 60 cm de arena redonda, lavada, no calcárea de granulometría que oscila entre 0.70 a 1.50 mm de diámetro; **capa intermedia**, de altura de 10 cm de grava redonda semimachacada, lavada, no calcárea, de granulometría que osciló entre 2 a 8 mm y **capa inferior** (protección de los tubos de drenaje) de altura de 20 cm de grava redonda semimachacada, lavada, de granulometría con un diámetro que se encuentre entre 20 a 80 mm. La especie vegetal (*Phragmites australis*) se incorpora en la primera capa de granulometría fina, la cual retiene a los sólidos y contribuyendo

con la absorción de nutrientes del agua residual desde sus rizomas. En el Figura 1 se muestra un esquema de la planta piloto.

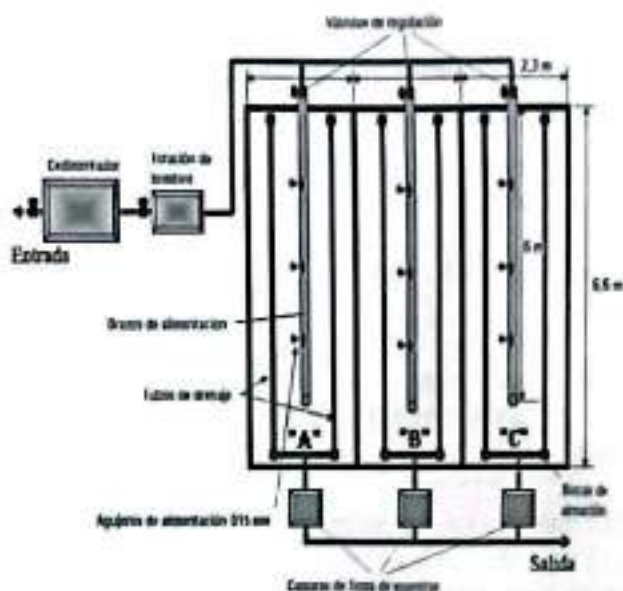


Figura 1. Dimensiones y la forma de funcionamiento de los lechos de tratamiento

El sistema de tratamiento de AR contempló tres lechos de tratamiento que cuentan con brazos de alimentación y válvulas independientes, los cuales son muy necesarios para la regulación y operación para la descarga de AR. En cada lecho de tratamiento se encuentran sembradas las *Phragmites australis* de 48 plantines por lecho los cuales son de diferente altura y cantidad de tallo, cada lecho cuenta para el efluente una cámara individual el cual se emplea para la recolección de muestras. La frecuencia de alimentación con AR comprende una secuencia de funcionamiento, en la cual los lechos de tratamiento trabajan durante dos semanas y en la tercera semana se deja en reposo, este trabajo de los lechos es de manera alterna como se indica en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Ciclo de funcionamiento de los 3 lechos de tratamiento de AR

	Lecho A	Lecho B	Lecho C
Semana 1	Alimentación	Alimentación	Reposo
Semana 2	Reposo	Alimentación	Alimentación
Semana 3	Alimentación	Reposo	Alimentación
Semana 4	Alimentación	Alimentación	Reposo

Plantación de especie vegetal (*Phragmites australis*)

La distribución del trasplante fue de 4 plantines en 1 m², esta densidad está dada para que los rizomas tengan un mayor desarrollo.

Procedimiento de evaluación

Caudal de afluentes de AR para los lechos de tratamiento

Por la cantidad de volumen de agua residual que se emplea en la descarga a los lechos de tratamiento, la descarga se realizó en dos etapas.

En la primera etapa que abarca un tiempo de dos meses, el caudal de los afluentes se mantuvo constante para los tres lechos de tratamiento que es de 0.02 l·s⁻¹, en esta primera etapa se puede mencionar que el caudal se empleó para la adaptación del carrizo. La segunda etapa tuvo una duración de 3 meses de funcionamiento, donde el caudal del afluente "A" se mantuvo igual al de la primera etapa de 0.02 l·s⁻¹ representada como carga mínima, en el afluente "B" se duplicó a 0.04 l·s⁻¹ que llegaría a ser una carga intermedia y, el efluente "C" se triplicó a 0.07 l·s⁻¹ representando la carga máxima.

Puntos de muestreo

Un punto de muestreo para el afluente se localizó en la cámara de sedimentación, los puntos de muestreo de los efluentes se encuentran en las cámaras individuales de cada lecho de tratamiento.

Control de desarrollo de la *Phragmites australis*

Para determinar el desarrollo de la *Phragmites australis*, se realizó el registro de: crecimiento, número de tallos, número de brotes, número de nudos, distancia entre nudos y diámetro. Los cuales fueron necesarios en la determinación del desarrollo óptimo en el tratamiento de las AR.

Frecuencia de muestreo

La recolección de muestras y análisis de laboratorio del afluente y efluentes se las realizaron semanalmente. De la misma manera los datos recolectados en el seguimiento del desarrollo de la *Phragmites australis* fueron realizados semanalmente.

Parámetros físico-químicos-biológicos

Para iniciar la evaluación del sistema de rizofiltración se tomaron parámetros establecidos en la ley N° 1333 (Ley y Reglamento del Medio Ambiente) (DECRETO SUPREMO N° 24176, 8 DE DICIEMBRE DE 1995, REGLAMENTO EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA) que indiquen una calidad de agua que satisfagan los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas (artículos 4°, 5° y 6°).

Las muestras del afluente y efluentes fueron tomadas y analizadas según STANDARD METHODS. Conforme al siguiente cuadro.

Cuadro 2. Establecimiento de Standard Methods para el análisis de muestras

Parámetros	Método de Análisis	Laboratorio
Físico- Químico-Biológicos		
- Caudal	Formula de Caudal	In situ
- Temperatura	Termómetro	In situ
- pH	STANDARD METHODS 4500 H ⁺	Puchukollo
- Sólidos sedimentables	STANDARD METHODS 2540	Puchukollo
- Total de sólidos suspendidos	STANDARD METHODS 2540 D	Puchukollo
- Sólidos disueltos totales	STANDARD METHODS 2540 C	Puchukollo
- Sólidos totales	STANDARD METHODS 2540 B	Puchukollo
- DBO ₅	STANDARD METHODS 5210 B	Puchukollo
- DQO	STANDARD METHODS 5220 C	Puchukollo
- Oxígeno disuelto	STANDARD METHODS 4500- O	Puchukollo
- Sulfuros	STANDARD METHODS 4500 S ²⁻ F	Puchukollo
- Nitrógeno total	STANDARD METHODS 4500-org	Puchukollo
- Amoníaco total	STANDARD METHODS 4500 NH ₃	Puchukollo
- Fósforo Total	STANDARD METHODS 4500 P	Puchukollo
- Turbiedad	STANDARD METHODS 2130 B	Puchukollo
- Coliformes fecales	STANDARD METHODS 9221 E	Puchukollo
- Plomo	STANDARD METHODS 3500- Pb	Villa Fátima
- Mercurio	STANDARD METHODS 3112B	Villa Fátima
- Cromo	STANDARD METHODS 3500- Cr	Villa Fátima
Análisis del tejido de planta (<i>Phragmites australis</i>)		
- Desarrollo foliar	Medidas Cuantitativas	In situ
- Masa foliar	Medidas Cuantitativas	In situ
- Fósforo total	STANDARD METHODS 4500 P	Puchukollo
- Nitrógeno total	STANDARD METHODS 4500-org	Puchukollo
Análisis del filtro de arena (lecho de caña)		
- Granulometría del lecho	Medidas Cuantitativas	In situ
- Sedimento en lecho	Medidas Cuantitativas	In situ
- Fósforo total	STANDARD METHODS 4500 P	Puchukollo
- Nitrógeno total	STANDARD METHODS 4500-org	Puchukollo

Evaluación del sistema de tratamiento

Para la interpretación de los resultados obtenidos del sistema de tratamiento se realizó de dos maneras: un análisis estadístico y un análisis comparativo de datos de cada parámetro de estudio. En el análisis comparativo, se realizaron comparaciones de los valores de los parámetros medidos con los establecidos por el reglamento en materia de contaminación hídrica (RMCH) y se determinaron cuáles de estos parámetros excedían los valores de la clase "D" estipulados en dicho reglamento. Para evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento se realizó lo siguiente:

a) Normalidad de datos del afluente

Con el empleo del programa SSPS para Windows versión 15, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la distribución normal de los datos

b) Análisis estadístico del afluente y efluentes

Se realizó el análisis descriptivo (media, desviación estándar, varianza, rango, mínimo, máximo), en las que se empleó el software SSPS versión 15, y el apoyo de una hoja electrónica de Microsoft (Excel 2007).

c) Variaciones de datos del afluente y efluentes

Para determinar las variaciones de datos se realizó un análisis de varianza entre los datos obtenidos.

d) Carga orgánica

La determinación de la carga orgánica, se la realizó mediante la siguiente ecuación.

$$C = [DBO_5] \times Q \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

[DBO₅] = Concentración de DBO₅ expresado en kg/l

Q = Caudal (l/día)

C = Carga orgánica, expresada en kg/día

e) Agua biodegradable y agua difícilmente biodegradable

Conforme a la relación entre DBO₅ y DQO se determinó si el agua residual y agua residual tratada es biodegradable o difícilmente biodegradable. Se acepta que el valor de la relación entre DBO₅/DQO es de aproximadamente 0.5 o más, el agua es tratable biológicamente (biodegradable), mientras que si es menor de 0.5 se considera difícilmente biodegradable (Cuadro 3).

Cuadro 3. Agua biodegradable y agua difícilmente biodegradable

Agua biodegradable	Agua difícilmente biodegradables
$\frac{DBO}{DQO} \geq 0,5$	$\frac{DBO}{DQO} < 0,5$

Fuente: Ing. Ana María Chávez de Allain. Rev. Julio 2007, Universidad de Piura

f) Porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes

Obteniendo la media aritmética de cada parámetro se determinó el porcentaje de reducción en base a la siguiente ecuación:

$$E(\%) = \frac{\text{Afluente} - \text{Efluente}}{\text{Afluente}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

g) Análisis comparativo

Los datos obtenidos por laboratorio se compararon con los límites permisibles de la clasificación de aguas, estipulado por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) de la Ley 1333, basada en su aptitud de uso y de acuerdo a políticas ambientales vigentes en Bolivia.

Se resaltaron los valores de los parámetros analizados con colores acuerdo a los rangos admisibles para cada clase de calidad de aguas. Los colores aplicados a las clases de calidad se utilizan a nivel internacional y se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Colores utilizados en la clasificación físico-química

Clase	A	B	C	D	FUERA DE LÍMITES
Color	Azul	Verde	Amarillo	Anaranjado	Rojó

Fuente: Bellot J., 2008

3. Resultados y discusión

Características físico-químicas-biológicas del agua residual (Afluente) y agua residual tratada (Efluente).

Durante el tiempo de funcionamiento del sistema de rizofiltración para el tratamiento de agua residual, el caudal se incrementó en diferentes descargas de caudal por tal razón se analizó en dos etapas.

A) Primera etapa

En el cuadro 5 se puede apreciar el rendimiento del sistema de rizofiltración y la eficiencia con la que disminuye la concentración de contaminantes del agua residual. El periodo de funcionamiento de la primera etapa tuvo una duración de 9 semanas.

Cuadro 5. Concentraciones de agua residual (Afluente) y agua residual Tratada (Efuentes), en la primera etapa con el porcentaje de eficiencia

PARÁMETROS			LÍMITES Ley Medio Ambiente CLASE B	PUNTOS DE MUESTREO					PORCENTAJE DE EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL			
Ref.	Descripción	Unidad		Afluente	Efluente A	Efluente B	Efluente C	PROMEDIO EFLUENTES	Efluente A	Efluente B	Efluente C	PROMEDIO EFLUENTES
Parámetros Físico Químicos												
1	CAUDAL	l/s	-	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	-	-	-	-
2	CARGA ORGÁNICA	Kg DBO5/día	-	1.56	0.06	0.04	0.02	0.04	96.25	97.44	98.78	97.48
3	TEMPERATURA	°C	+/- 5°C	13.81	16.34	15.71	16.09	16.05	-4.64	-0.64	-3.06	-2.78
4	pH	Unidades de pH	6.0 < pH < 9.0	8.61	6.97	6.87	6.86	6.90	19.06	20.24	20.34	19.88
5	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml/h	1	4.11	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
6	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	60	446.44	9.40	23.03	13.17	15.20	97.89	94.84	97.05	96.60
7	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	1500	1189.44	806.33	680.75	617.00	781.36	32.21	44.45	31.31	35.99
8	SÓLIDOS TOTALES	mg/l	-	1635.89	692.97	827.87	980.00	833.61	57.64	49.39	40.09	49.04
9	DBO	mg/l O ₂	80	412.44	21.83	26.17	14.50	21.50	94.71	93.17	96.48	94.79
10	DDO	mg/l O ₂	250	906.56	73.00	65.83	68.67	75.83	91.97	90.56	92.45	91.66
11	OXÍGENO DISUELTO	mg/l O ₂	> 60%	0.00	3.48	3.70	3.50	3.56	-	-	-	-
12	NITRÓGENO TOTAL	mg/l N	12	149.56	37.67	52.42	18.17	35.75	74.81	64.28	69.19	71.10
13	AMONÍACO TOTAL	mg/l N	2	127.00	30.00	45.58	18.17	31.25	76.38	64.11	65.70	73.39
14	SULFUROS	mg/l	2	5.24	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
15	FÓSFORO	mg/l P	-	6.57	1.85	3.03	0.70	1.86	76.40	64.59	91.83	78.27
16	TURBEDAD	NTU		339.11	13.10	13.06	7.53	11.23	96.14	96.15	97.78	96.69
Parámetros Microbiológicos												
17	COLIFORMES FECALES	NMP por 100 ml	1000	1.37E+08	4.23E+04	4.23E+04	3.13E+04	3.87E+04	99.97	99.97	99.98	99.97
Metales Pesados												
18	PLOMO	µg/l Pb	600	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
19	MERCURIO	µg/l Hg	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
20	CROMO	µg/l Cr	100	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

B) Segunda etapa

En esta etapa se incrementó el caudal del afluente para el cual tuvo un periodo de 13

semanas de funcionamiento. En el cuadro 6 se puede apreciar el registro durante todo el periodo de funcionamiento de la planta piloto.

Cuadro 6. Concentraciones de agua residual (Afluente) y agua residual tratada (Efluentes), en la segunda etapa con el porcentaje de eficiencia

PARÁMETROS			LÍMITES Ley Medio Ambiente CLASE B	PUNTOS DE MUESTREO					PORCENTAJE DE EFICIENCIA DE REMOCION			
Ref.	Descripción	Unidad		Afluente	Efluente A	Efluente B	Efluente C	PROMEDIO EFLUENTES	Efluente A	Efluente B	Efluente C	PROMEDIO EFLUENTES
Parametros Físico Químicos												
1	CAUDAL	ls	-	0.09	0.03	0.07	0.10	0.07	-	-	-	-
2	CARGA ORGANICA	Kg DBO5/día	-	4.75	0.13	0.22	0.04	0.13	97.31	95.47	99.06	97.28
3	TEMPERATURA	°C	+/- 5°C	13.19	13.43	13.70	13.30	13.51	-1.81	-3.91	-1.53	-2.42
4	pH	Unidades de pH	6.0 < pH < 9.0	8.75	7.14	7.27	7.31	7.24	18.42	16.92	16.44	17.26
5	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml/h	1	1.88	0.11	0.00	0.00	0.04	94.10	100.00	100.00	98.03
6	TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/l	60	461.92	20.89	11.53	11.78	14.73	95.48	97.50	97.45	96.81
7	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	1500	1429.69	982.89	907.33	978.00	956.07	31.25	36.54	31.59	33.13
8	SÓLIDOS TOTALES	mg/l	-	1825.77	1003.78	936.67	989.78	976.74	45.02	48.70	45.79	46.50
9	DBO	mg l O ₂	80	625.77	63.78	40.56	28.89	44.41	89.81	93.52	95.38	92.90
10	DOO	mg l O ₂	250	1282.54	236.33	220.33	241.72	232.80	81.57	82.82	81.15	81.85
11	OXÍGENO DISUELTO	mg l O ₂	> 60%	0.00	3.73	3.27	3.61	3.54	-	-	-	-
12	NITRÓGENO TOTAL	mg l N	12	209.03	51.49	58.93	58.16	56.19	75.37	71.81	72.18	73.12
13	AMONÍACO TOTAL	mg l N	2	189.37	44.58	47.36	49.78	47.24	76.46	74.99	73.71	75.06
14	SULFUROS	mg/l	2	6.22	0.00	0.24	0.07	0.10	100.00	96.07	98.93	98.33
15	FÓSFORO	mg l P	-	10.21	2.93	2.71	2.17	2.60	71.33	73.45	78.78	74.52
16	TURBEDAD	NTU		413.00	50.70	22.61	13.69	29.00	87.72	94.53	96.69	92.98
Parametros Microbiológicos												
17	COLIFORMES FECALES	NMP por 100 ml	1000	9.83E+07	3.74E+05	2.10E+05	1.80E+05	2.55E+05	99.62	99.79	99.82	99.74
Metales Pesados												
18	PLOMO	Ugt Pb	600	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
19	MERCURIO	Ugt Hg	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
20	CROMO	Ugt Cr	100	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

Caudal

Según Lesikar y Enciso (2001). Promotores Especialistas de Ingeniería Agrícola, indican que el volumen que se emplea para el tratamiento

de AR en un filtro intermitente de arena es de 0,42 l*m² diarios de depuración con la finalidad de limitar el mantenimiento del filtro; el sistema de rizofiltración propuesto, en la primera etapa tiene una capacidad de tratamiento de agua

residual en cada lecho (Lechos A, B y C) de 124.69 l·m² diarios de depuración. En la segunda etapa el lecho "A" realiza el tratamiento de 124.69 l·m² diarios, el lecho "B" 249.38 l·m² diarios de depuración y el lecho "C" realiza un tratamiento de 374.07 l·m² diarios. La mejor remoción fue en el lecho B de la segunda etapa.

Temperatura

El sistema de tratamiento se diseñó bajo un sistema de flujo subsuperficial vertical, cada lecho de tratamiento trabaja independientemente en la depuración de AR donde el efluente no se expone al sol de forma directa, por este efecto la temperatura no tiene variaciones de gran significancia. En cambio en el trabajo de Quipuzco (2001) el sistema de estudio pasa por dos sistemas de tratamiento que están instalados en serie, donde el AR pasa por un sistema primario de tratamiento luego pasa al sistema de flujo horizontal donde este está expuesto a la radiación solar, para luego terminar con el sistema de flujo vertical. Pese a la gran diferencia de diseño el sistema de tratamiento por rizofiltración realiza el tratamiento de AR de forma eficiente.

pH

En el periodo de funcionamiento del sistema de rizofiltración, de manera general los valores promedios de pH del agua residual a través del sistema de tratamiento oscilo entre 6.88 a 7.52 asemejándose a los resultados de Quipuzco (2001), que oscilo entre 7.1 y 7.24. Así también el pH llego a estabilizarse probablemente debido a la acción de la macrófita, concordando de alguna manera con la investigación de Bolaños et al. (2008), menciona que existe una dependencia del pH en el tratamiento en donde los valores de pH son más bajos a mayor DQO, la investigación realizada del sistema de rizofiltración es a lo contrario, donde evidenciamos que a mayor DQO el pH se eleva. Pero sin duda alguna, la investigación realizada ayuda a mantener un rango aceptable de pH.

Sólidos sedimentables

Generalmente, la concentración de compuestos orgánicos y contaminantes biológicos es más elevada en las materias en suspensión y en los sedimentos que en el agua. Las arcillas y las partículas orgánicas con una gran superficie de adsorción constituyen un soporte para iones, moléculas y los agentes biológicos. A causa de esto, pueden llegar a ser un vector para la penetración de estos productos en las cadenas tróficas. También el contenido de sólidos en el agua puede obstruir los macroporos del suelo (UNAM 2008). Según a esta definición el sistema de rizofiltración disminuye de forma muy significativa este problema, llegando a un 93.75 a 100%, caracterizándolo como agua de buena calidad.

Total de sólidos suspendidos

Los resultados de la investigación realizada por Quipuzco (2001), en el cual el diseño de tratamiento está elaborado en dos etapas donde la primera etapa es de flujo horizontal posee una notable capacidad de eliminación de SST (97.2%) sedimentándose la mayoría del total de sólidos suspendidos, pasando a la segunda etapa con una pobre capacidad de eliminación de SST (7.5%). El sistema de rizofiltración se diseñó con una única etapa de flujo vertical donde los lechos de filtración retienen en su mayoría al total de sólidos suspendidos, la eficiencia de remoción que realiza el sistema de tratamiento por rizofiltración oscilo entre 94.63 a 97.81%, asemejándose a los resultados de la primera etapa de la investigación de Quipuzco.

Sólidos disueltos totales

En cuanto al uso del agua para riego, los problemas que acarrear las sustancias disueltas con relación a la producción de cultivos, se pueden agrupar en: problemas de salinidad, problemas de permeabilidad (por ejemplo, Sodio), problemas de toxicidad (por ejemplo, toxicidad producida por Boro) (UNAM 2008).

Para mitigar los problemas que provocan los sólidos disueltos totales, el sistema de tratamiento por rizofiltración, es una alternativa para la remoción de dicho parámetro teniendo una eficiencia de 29.30 a 48.99% de remoción.

Sólidos totales

La investigación realizada en el sistema de tratamiento por rizofiltración demostró una eficiencia de remoción que oscilo entre 43.16 a 59.81%.

Podemos mencionar que en una investigación realizada por Scavoet et al. (2005) que empleo pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) como tratamiento complementario a una planta de tratamiento, donde el modelo físico constó de 5 tanques interconectados en secuencia obteniendo una eficiencia de remoción de 78.3% en el sistema con vetiver y 72.05% en el sistema sin vetiver.

Según el modelo diseñado para el tratamiento de aguas residuales y las condiciones del lugar, y el trabajo de Scavo nos muestra que la eficiencia en el empleo de humedales artificiales son eficientes que depende del diseño y estudio respectivo con la finalidad de disminuir el grado de contaminación a los cuerpos receptores, así también la eficiencia de la PPTAR-D7 es notoria que puede mejorar aun con el desarrollo del carrizo (*Phragmites australis*).

Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

En la investigación realizada, la PPTAR-D7 tuvo una eficiencia que oscila entre 89.70 a 96.38%, de los cuales, la concentración del AR estuvo en 538.50 mg·l⁻¹ reduciéndolo a una concentración que oscila entre 5.00 a 94.78 mg·l⁻¹.

En un estudio realizado por Lahora (2001), menciona que el rendimiento total del conjunto de lechos de turba-humedal, alcanza porcentajes de reducción superiores a los exigidos en la directiva española, obteniendo una media superior a 25 mg·l⁻¹.

La investigación de Lahora confirma que el empleo de humedales artificiales ayuda a disminuir las concentraciones del agua residual, aunque los datos obtenidos por la PPTAR-D7 son un tanto superiores al de la Lahora, podemos afirmar que con el desarrollo de la macrófita la eficiencia aumentara paulatinamente en el tiempo.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La remoción por el sistema de rizofiltración de la DQO oscilo entre 28.00 a 566.00 mg·l⁻¹ de una concentración del AR de 1129.95 mg·l⁻¹. La eficiencia de la PPTAR-D7 se encontró entre 81.59 a 92.00% de remoción, según la investigación realizada por Romero et al. (2009), Donde sus resultados comprenden en la temporada de estiaje a la entrada del sistema, se presentó una concentración inicial de 164 mg·l⁻¹, y después de su paso por el sistema, de 7 mg·l⁻¹, lo que significa una remoción de 95.73%, durante la temporada de lluvias, la concentración inicial en el agua residual fue de 306 mg·l⁻¹ y a la salida del sistema, de 30 mg·l⁻¹, lo que representa 90.2% de remoción.

En la investigación realizada por Romero, donde instalo humedales artificiales de manera secuencial a un sistema de tratamiento primario, las concentraciones obtenidas de DQO en el AR no son similares a las concentraciones del AR tratada por la PPTAR-D7, pese a esta diferencia, la eficiencia de remoción del parámetro se asemeja a la eficiencia de Romero.

Oxígeno disuelto (OD)

En la investigación realizada, el sistema de tratamiento por rizofiltración, realiza una adición de O₂ pasando de una agua anoxia a una agua hipoxia. La adición de O₂ oscilo de 0.57 a 5.07 mg·l⁻¹, esta adición de oxígeno podría ser a causa de la fotosíntesis realizado por la macrófita "*Phragmites australis*" y aunque la adición de O₂ no contribuye a la vida acuática, podemos afirmar que se llegaría a lograr una adición de O₂ aceptable.

Nitrógeno total

El nitrógeno es un elemento esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual recibe el nombre de nutriente o bioestimulador (UNAM 2008).

En la investigación realizada con el sistema de tratamiento de AR por rizofiltración se puede mencionar que la remoción oscilo entre 10.00 a 101.00 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de una concentración de AR de 184.70 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ con una eficiencia de 63.48 a 88.95%, aproximándose al 88% obtenido por Francia et al., (2004) se podría mencionar que la eficiencia podría mejorar con el desarrollo de la macrófita.

Amoniaco total

En la investigación realizada para el tratamiento de aguas residuales con un sistema de rizofiltración de flujo vertical, se puede mencionar que la remoción del amónico total oscilo entre 4 a 84 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de una concentración del AR de 163.85 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ obteniendo una eficiencia de 59.78 a 83.97%, debido a la asimilación del protoplasma celular de la macrófita, se puede estimar que incrementaría la eficiencia de remoción según la propagación y desarrollo vegetativo de la macrófita.

Sulfuros

Se puede mencionar que la remoción de los sulfuros oscila entre 0.00 a 2.00 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de una concentración del AR de 5.82 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, teniendo una eficiencia de 95.79 al 100% de remoción, superando al 88.24% obtenidos por Quipuzco (2001) que es una dato global del diseño de su investigación que consistía en dos etapas la primera de flujo horizontal y la otra de flujo vertical.

El sistema de rizofiltración es muy eficiente en comparación con el sistema de Quipuzco y hay que añadir que trabaja directamente con AR, realizando solamente tratamientos previos (desarenado y retención de sólidos flotantes) para su tratamiento.

Fósforo

La remoción de fosforo oscilo entre 0.20 a 8.90 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de una concentración de AR de 9.54 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ obteniendo una eficiencia de 60.94 a 90.99% de remoción superando al 40.35% obtenidos (Romero et al. 2009).

La eficiencia de la PPTAR-D7 se debe a la asimilación de la macrófita, con un mayor desarrollo de la especie la remoción del fosforo seria mayor.

Turbiedad

La remoción de turbiedad osciló entre 2.48 a 104.00 NTU, de una concentración de AR de 382.77 NTU obteniéndose una eficiencia de 87.90 a 97.84% teniendo una similitud con el resultado de 94.54 % (Quipuzco 2001). El filtro de arena asociado con la macrófita *Phragmites australis*, trabaja eficientemente en la retención de sólidos, en definitiva, el sistema de tratamiento es eficiente en la aclaración del AR.

Coliformes fecales

La eficiencia en la remoción de este parámetro es muy notoria con el tratamiento de PPTAR-D7 durante el periodo de funcionamiento, alcanzando de 99.84 a 99.98% de eficiencia, teniendo una similitud con el 98% de remoción (Quipuzco 2001).

Metales pesados

La contaminación por metales pesados es frecuente por las actividades de la industria, minera y metalúrgica. Los valores obtenidos son bajos, sin poder determinar con exactitud la concentración de metales. Se puede indicar que la causa frecuente es la calibración de los equipos que calculan estos datos. Los metales pesados analizados fueron: plomo, mercurio y cromo.

Carga orgánica

La carga orgánica presente en el agua residual es una relación entre el caudal y DBO_5 (ecuación 1), de los cuales se pudo determinar cuantos kilos de materia orgánica se retiene por día, estos datos se pueden apreciar en la Figura 2.

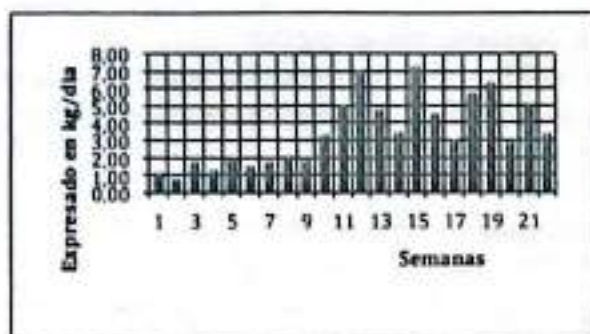


Figura 2. Variación de carga orgánica.

Caracterización de agua biodegradable y agua difícilmente biodegradable

Al haberse determinado la carga orgánica presente en el afluente, resulta importante establecer la relación entre el DBO_5 y DQO medidos durante el estudio para comprobar si esta carga orgánica del agua residual y el agua trata puede ser o no biodegradables. En el gráfico 4 se puede apreciar las variaciones de la fracción biodegradable.

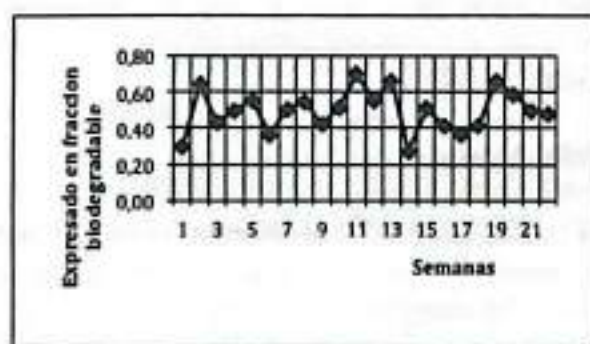


Figura 3. Variación de la biodegradabilidad.

Los datos obtenidos reflejan que el agua residual (AR) se encuentra en agua residual biodegradable y agua difícilmente biodegradable, teniendo una variación cuando se incrementa el caudal.

Análisis del comportamiento vegetativo (*Phragmites australis*).

En cada lecho se trasplantó 48 plantines (4 plantines por m^2), la distribución de plantines fue por rangos en base a la altura registrada, para el lecho A 31 cm-40 cm, lecho B 41 cm-50 cm y lecho C 51 cm-60 cm.

Desarrollo foliar

En el transcurso del proyecto la *Phragmites australis* se estableció en los lechos de tratamiento desarrollándose de forma normal, aunque las heladas, provocaron la desecación de las cañas de mayor altura. Este efecto no impidió el desarrollo de los rizomas que se propagaron en todo el lecho de tratamiento.

En el lecho "A" se pudo observar un crecimiento que empezó a principios de mes de noviembre con el transplante de las cañas de 70.63 cm, llegando a su máxima altura a principios del mes de mayo a una altura de 127.50 cm y descendiendo por causa de heladas a finales del mes de julio a una altura de 30.13 cm, de la misma manera en el lecho "B" se empezó con un altura de 75.63 cm su máxima altura de 130.15 cm y descendiendo a 39.75 cm y el lecho "C" empezó con una altura de 88.71 cm su máxima altura de 151.17 cm descendiendo a 53.63 cm. Estos datos se pueden observar en la Figura 4.

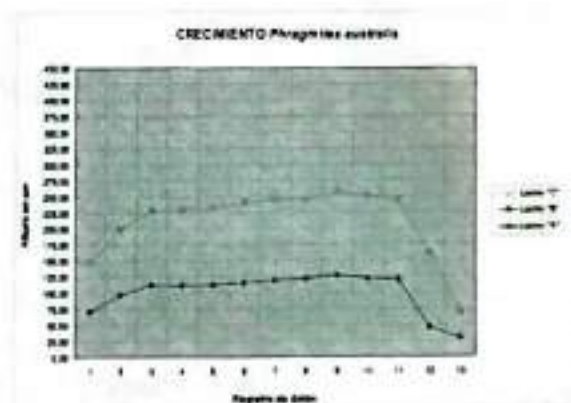


Figura 4. Variaciones de Crecimiento *Phragmites australis*

El crecimiento poblacional, la cantidad de tallos y tallos emergentes no tuvo problemas de adaptación al lecho filtrante, aunque en un principio no se registró ningún desarrollo de nuevos tallos, con el transcurrir del tiempo las *Phragmites australis* comenzaron a poblar los lechos, siendo el más poblado el lecho "C", medianamente el lecho "B" y ligeramente poblada el lecho "A", debido a la selección que se hizo en un principio y podemos indicar que el desarrollo es directamente proporcional. El lecho "A" comenzó con 169 tallos culminando con 1059 tallos teniendo en todo el transcurso del estudio un incremento de 890 tallos. El lecho "B" comenzó con 179 tallos llegando a 1323 tallos teniendo un incremento poblacional de 1144 tallos y el lecho "C" comenzó con 197 tallos finalizando con 1436 tallos teniendo un incremento de 1239 tallos.

Según datos registrados los tallos alcanzaron un grosor que osciló entre 0.30 a 1.30 cm y para poblar una área de 13.39 m², que corresponde a cada lecho de tratamiento se requeriría aproximadamente 79224 unidades *Phragmites australis*, es según a esta relación que el lecho "A" alcanza a una población del 1.34%, el lecho "B" alcanza a poblar 1.67%, y el lecho "C" alcanzó a poblar en un 1.81%. Estos datos se pueden apreciar en la Figura 5.



Figura 5. Desarrollo poblacional *Phragmites australis* expresado en unidades

4. Conclusiones

Los parámetros físico, químico y biológico determinado en el afluente son los siguientes: caudal con un promedio de 0.07 l·s⁻¹; carga orgánica 3.45 kg·día⁻¹; temperatura 14.18°C; pH 8.69 unidades de pH; sólidos sedimentables 2.80 mg/l; total de sólidos suspendidos 455.59 mg·l⁻¹; sólidos disueltos totales 1331.41 mg·l⁻¹; sólidos totales 1748.09 mg·l⁻¹; demanda biológica de oxígeno (DBO₅) 538.50 mg·l⁻¹; demanda química de oxígeno (DQO) 1129.95 mg·l⁻¹; oxígeno disuelto (OD) 0.00 mg·l⁻¹; nitrógeno total 184.70 mg·l⁻¹; amoníaco total 163.85 mg·l⁻¹; sulfuros 5.82 mg·l⁻¹; fósforo 9.54 mg·l⁻¹; turbiedad 382.77 NTU; coliformes fecales 1.14E+08 NMP por 100 ml; plomo 0.01 mg·l⁻¹; mercurio 0.01 mg·l⁻¹ y plomo 0.01 mg·l⁻¹.

Los parámetros Físico-Químico y Biológico determinado en el efluente son los siguientes: Caudal con un promedio en el lecho "A" de 0.02 l·s⁻¹, lecho "B" 0.04 l·s⁻¹ y lecho "C" 0.05 l/s; Carga orgánica en el lecho "A" 0.14 kg·día⁻¹, lecho "B" 0.22 kg·día⁻¹ y lecho "C" 0.05 kg·día⁻¹; Temperatura en el lecho "A" 14.59°C, lecho "B" 14.51°C y lecho "C" 14.47°C; pH en el lecho "A" 7.07 unidades de pH, lecho "B" 7.11 unidades de pH y lecho "C" 7.13 unidades de pH; Sólidos sedimentables en el lecho "A" 0.07 mg·l⁻¹, lecho "B" 0.00 mg·l⁻¹ y lecho "C" 0.00 mg·l⁻¹; Total de sólidos suspendidos en el lecho "A" 16.29 mg·l⁻¹, lecho "B" 16.13 mg·l⁻¹ y lecho "C" 12.33 mg/l; Sólidos disueltos totales en el lecho "A" 912.27 mg·l⁻¹, lecho "B" 808.70 mg·l⁻¹ y lecho "C" 913.60 mg·l⁻¹; Sólidos totales en el lecho "A" 879.45 mg·l⁻¹, lecho "B" 893.15 mg·l⁻¹ y lecho "C" 985.87 mg·l⁻¹; Demanda biológica de oxígeno (DBO₅) en el lecho "A" 47.00 mg·l⁻¹, lecho "B" 35.60 mg·l⁻¹ y lecho "C" 23.13 mg·l⁻¹; Demanda química de oxígeno (DQO) en el lecho "A" 171.00 mg·l⁻¹, lecho "B" 166.53 mg·l⁻¹ y lecho "C" 172.50 mg·l⁻¹; Oxígeno disuelto (OD) en el lecho "A" 3.63 mg·l⁻¹, lecho "B" 3.44 mg·l⁻¹ y lecho "C" 3.57 mg·l⁻¹; Nitrógeno total en el lecho "A" 45.96 mg·l⁻¹, lecho "B" 56.73 mg·l⁻¹ y lecho "C" 41.36 mg·l⁻¹; Amoníaco total en el lecho "A" 38.75 mg·l⁻¹, lecho "B" 46.65 mg·l⁻¹ y

lecho "C" 37.13 mg·l⁻¹; Sulfuros en el lecho "A" 0.00 mg·l⁻¹, lecho "B" 0.15 mg·l⁻¹ y lecho "C" 0.04 mg·l⁻¹; Fósforo en el lecho "A" 2.50 mg·l⁻¹, lecho "B" 2.84 mg·l⁻¹ y lecho "C" 1.58 mg·l⁻¹; Turbiedad en el lecho "A" 35.66 NTU, lecho "B" 18.79 NTU y lecho "C" 11.22 NTU; Coliformes fecales en el lecho "A" 2.42E+05 NMP por 100 ml, lecho "B" 1.43E+05 NMP por 100 ml y lecho "C" 1.21E+05 NMP por 100 ml, Plomo en el lecho "A", "B" y "C" 0.01 mg·l⁻¹; Mercurio en el lecho "A", "B" y "C" 0.01 mg·l⁻¹; Plomo en el lecho "A", "B" y "C" 0.01 mg·l⁻¹. La aclimatación y propagación de la *Phragmites australis* en los lechos de tratamiento durante el tiempo de investigación (marzo 2007 – julio 2007) demuestra una adaptación al clima de la ciudad de El Alto, comenzando con una densidad inicial de 182 tallos y obteniendo a la finalización del estudio 1273 unidades de tallos en promedio por lecho de tratamiento. Las alturas alcanzadas por la macrófita oscilaron entre 30.13 a 150.65 cm.

El sistema de rizofiltración mostró un buen comportamiento en el proceso de reducción de la materia orgánica, manteniendo un buen rendimiento a lo largo del estudio. Su capacidad le permitió absorber altas concentraciones de DBO₅ y DQO, en la primera etapa la DBO₅ fue 94.79% en la segunda etapa 92.90%, la reducción de la DQO 91.66% y 81.85% en las etapas respectivas. Los sólidos totales se redujeron en la primera etapa 49.04% en la segunda etapa 46.50%, la remoción de la turbiedad alcanzo en la primera etapa 96.69% y en la segunda etapa 92.98%.

El incremento del caudal ocasiona una reducción en la eficiencia de tratamiento del agua residual.

Una de la características destacadas es la incorporación de O₂ en el agua tratada, el proceso biológico incorporo en una primera etapa 3.56 mg·l⁻¹ y en una segunda etapa 3.54 mg·l⁻¹. Los nutrientes nitrógeno y fósforo se redujeron en la primera etapa 76.10% y 78.27% en una segunda etapa 73.12% y 74.52%, respectivamente. La remoción de los coliformes fecales alcanzo porcentajes de 99.97% y 99.74%.

El sistema de rizofiltración con el empleo de *Phragmites australis*, es una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales, en las que se requiera eliminar nutrientes y carga orgánica, alcanzando eficiencias del 96.16% a 3959 msnm.

5. Agradecimientos

A la empresa EPSAS que me brindo el espacio del trabajo de investigación en la planta piloto de tratamiento, para que este trabajo sea concluido. Al laboratorio central de Villa Fátima y laboratorio de la planta de tratamiento de Puchukollo por haber realizado los análisis de afluente y efluentes.

6. Referencias bibliográficas

- Guerra, M. 2000. Efecto Descontaminante de la Totorá en las Lagunas de Estabilización de Puchuckollo Bajo. Proyecto de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Civil. p. 25.
- La hora, A. 2001. Depuración de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almeira). Gestión de Aguas del Levante Almeriense, S. A. GALASA.
- León, E. et al., 2009. Expediente Urbano Unidad Vecinal "E" Barrio Bautista Saavedra Distrito 7 – El Alto. CHF Internacional – ARD Programa De Fortalecimiento Municipal. p. 13-15.
- LEY 1333. 1992. Ley y Reglamento del Medio Ambiente. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica. p. 226-265.
- Mujeriego, R. 1990. La reutilización de agua residual: Conceptos básicos y posibles aplicaciones en el área metropolitana de Barcelona. Informe Técnico. Barcelona. 38 pp.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA (UNAM). 2008. I Curso Básico de Análisis De Agua, Suelos Agrícolas, Fertirriego, Hidroponía y Calidad de Alimentos. MÓDULO 1: Análisis del Agua. TEMA 3: Los Parámetros Físicos y Químicos. p. 29-49.

Francia, D. et al. 2004. Remoción de Nitrógeno y Fósforo de Aguas Residuales Domésticas Mediante Humedales Artificiales. [En línea] Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/Ciudad%20Obregon/TECNOLOGIA_Y_BIOTECNOLOGIA_AMBIENTAL/TBA094.doc. (Accedida el 14 Jul. 2010).

García, J. et al. 2005. Depuración con sistemas naturales: humedales construidos. [En línea] Disponible en: http://grupo.us.es/ciberico/archivos_word/99b.doc<http://www.monografias.com/trabajos11/teosis/teosis.shtm>(Accedida el 04 Ago. 2009).

Kaplan, L. *Phragmites australis*. [En línea] Disponible en: <http://site.www.umb.edu/conne/leslie/lesliepage.htm> (Accedida el 14 Jun. 2011).

Lesikar, B. y enciso, J. 2001. Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. Promotores Especialistas de Ingeniería Agrícola. Sistema Universitario Texas A & M. [En línea] Disponible en: http://www.elriego.com/informa_te/riego_agricola/riego_localizado/componentes_instalacion/cabecal.htm<http://www.monografias.com/trabajos11/teosis/teosis.shtm>(Accedida el 10 Ago. 2010).

Quipuzco, L. 2001. Evaluación del Comportamiento de dos Pantanos Artificiales Instalados en Serie con *Phragmites australis* Para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas [En línea] Disponible en: www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep184/.../pantanos.pdf (Accedida el 11 Jun. 2010).

Scavo, M. et al. 2005. Estudio de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Complementario, con Pasto Vetiver (*VetiveriaZizanioides*L.), Provenientes de una Planta de Producción de Gaseosas, En Villa De Cura, Estado Aragua. [En línea] Disponible en:<http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/BA17es.pdf>. (Accedida el 7 Feb. 2012).

Anexos



Foto 1. Infraestructura de la Planta Piloto



Foto 2. Cámara de sedimentación



Foto 3. Estación de Bombeo



Foto 4. Brazos de alimentación de agua residual regulado por llaves de paso



Foto 5. Cámara de efluente independiente en cada lecho de tratamiento



Foto 6. Toma de muestras (afuente)



Foto 7. Toma de muestras de agua residual tratada (efluente)



Foto 8. Medición del crecimiento de la *Phragmites australis*



Foto 9. Cambio de turbiedad



DICyT

**Dirección de Investigación
Ciencia y Tecnología**

Dirección:

Avenida Sucre (Zona Villa Esperanza) s/n

Teléfono: (591-2) **2844177**

Fax: (591-2) 2845800

Sitio web: www.iilyp.upea.edu.bo

institutoiilyp@gmail.com