

# REVISTA DE AGRICULTURA

## CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS, FORESTALES Y VETERINARIAS

### Contenido

#### ACTUALIDAD NACIONAL:

El rol de la cabra Criolla en el sistema de producción de pequeños productores en Cochabamba. *Angelika Stemmer; Anne Valle Zárate* (pp. 1-7)

#### DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS:

Selección asistida por marcadores moleculares en el Programa de Mejoramiento Genético de Papa de PROINPA. *Julio Gabriel; Silene Veramendi* (pp. 8-19)

Crecimiento de especies forestales nativas en sistemas agroforestales en la zona de Valle Sacta. *Casimiro Mendoza; Edwars Sanzetenea* (pp. 20-26)

Validación de modelos matemáticos indirectos, para cuantificar la acumulación de horas frío y días grado, en las zonas frutícolas de San Benito en Cochabamba. *Eduardo Mendoza* (pp. 27-36)

Evaluación de la regeneración natural de tres especies forestales en bosque de neblina de Independencia. *Rubén Crespo; Fimo Alemán* (pp. 37-48)

Evaluación de modelos predictivos para la identificación de sitios de colecta de especies silvestres de tomate en Bolivia. *Fernando Patiño; Bruno Condori; Mario Crespo; Ximena Cadima* (pp. 49-57)

Marchitez de plantines de tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntz) en vivero. *Mario Coca-Morante* (pp. 58-66)

#### METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN:

Evaluación Visual de Suelos (EVS): Una herramienta práctica para medir sostenibilidad de la agricultura. *José R. Benites Jump* (pp. 67-77)

**Guía de Campo:** Evaluación Visual de Suelos. *José R. Benites Jump* (pp. 78-84)



Cabras Criollas en la zona de Mizque. El ganado caprino se constituye en una fuente básica en la seguridad alimentaria del productor de zonas áridas y semiáridas de Bolivia

#### Instituciones responsables de la presente publicación:

Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria "Martín Cárdenas" (UMSS)

Centro de Investigación en Forrajes "La Violeta" (CIF-UMSS)

Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA)



**Foto de la portada:**

Angelika Stemmer

**Comité Editor:**

Ing. Agr. MSc. Fimo Alemán  
Ing. Agr. MSc. Edgar Gutiérrez  
Ing. Agr. Ruddy Meneses  
Ing. Agr. PhD. Antonio  
Gandarillas  
Ing. Agr. PhD. Julio Gabriel

**Coordinación de Producción:**

Ing. Agr. MSc. Hernán Campos

**Traducciones:**

Ing. Paola Alemán

**Revisión y pre diagramación:**

Ing. Agr. Ruddy Meneses

**Artes y Diagramación:**

María Isabel Soliz

**Impresión:**

Impresiones Polígraf

**Tiraje:**

500 ejemplares

## PRESENTACIÓN

La *Revista de Agricultura* se complace en presentar un nuevo número, con artículos científicos generados por el trabajo de Docentes e Investigadores, con apoyo -entre otros- de estudiantes tesistas de universidades nacionales, reflejando experiencias logradas dentro del manejo y la conservación de los recursos naturales, con temáticas relativas a las ciencias agropecuarias y forestales. Estos trabajos son fruto de un esfuerzo continuo y sistemático, que va desde la planeación, la ejecución en campo y su correspondiente análisis, que permite mostrar resultados de gran utilidad para quienes requieren de información, tanto para respaldar y enriquecer su conocimiento, como para aquellos que afrontan actividades productivas en el agro boliviano.

La *Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria de la Universidad Mayor de San Simón*, cumple nuevamente con los demandantes de información, bajo la premisa que el conocimiento científico y tecnológico, su difusión y aplicación, son aspectos claves para el despegue económico y social de una sociedad, por tanto estas acciones deben ser fomentadas, priorizadas y ponderadas, en especial en un medio donde no se cuenta con el hábito sano de escribir.

En este contexto, y con el firme propósito de dar continuidad a una actividad relevante -como es la difusión científica y tecnológica-, a nombre de los coyunturales responsables de esta publicación, se invita a quienes generan información en Ciencia y Tecnología en Bolivia, a compartir conocimientos a través de la *Revista de Agricultura*, con la seguridad que sus aportes ayudarán para dar solución a las diferentes problemáticas y limitaciones con las que actualmente tropieza la actividad agrícola, pecuaria, forestal y veterinaria en Bolivia.

## REVISTA DE AGRICULTURA

Los Editores han sido muy cuidadosos en reproducir rigurosamente los artículos publicados en esta Revista. Sin embargo, las ideas y opiniones contenidas en dichos artículos, son de entera responsabilidad de los autores y no representan, necesariamente, los puntos de vista de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria "M. Cárdenas", de la Universidad Mayor de San Simón.

Se permite la reproducción total o parcial y por cualquier medio, de los artículos de la presente Revista, siempre y cuando se cite la fuente.

# El rol de la cabra Criolla en el sistema de producción de pequeños productores en Cochabamba

Angelika Stemmer<sup>1</sup>; Anne Valle Zárate<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, UMSS

<sup>2</sup> Instituto de Producción Animal en los Trópicos y Sub Trópicos  
Universidad Hohenheim, Alemania

E mail: a.stemmer@umss.edu.bo

**Resumen.** En Cochabamba, la crianza de caprinos se realiza principalmente en valles interandinos en sistemas de producción orientados a la subsistencia. Los criadores en su mayoría tienen rebaños mixtos de cabras Criollas y ovejas de 30 a 40 cabezas en promedio. El manejo del rebaño es tarea casi exclusivamente de mujeres y niños. Se describe el sistema de producción caprina en el Departamento de Cochabamba. Se concluye que la crianza de cabras Criollas es importante para aportar a la seguridad alimentaria de pequeños productores y para resguardar los recursos zoogenéticos que por su alta variabilidad y capacidad de adaptación serán capaces de seguir aportando al sustento de sus propietarios.

**Palabras clave:** Caprinos; Subsistencia; Recursos Zoogenéticos

**Abstract. The role of Criollo goats in the small holder production system of Cochabamba.** In Cochabamba, goats are mainly kept in inter-Andean valleys in subsistence-orientated production systems. Most producers keep mixed flocks of Criollo goats and sheep, on average 30 to 40 animals. Women and children carry out the majority of husbandry tasks. The production system of goats in the department of Cochabamba is described. It is concluded that the keeping of Criollo goats is an important contribution to the food security of small-holders and to the protection of animal genetic resources that, thanks to their high variability and adaptation, will be able to carry on contributing to the livelihoods of their owners.

**Keywords:** Goat keeping; Subsistence; Animal Genetic Resources

## Introducción

En Cochabamba, la crianza de caprinos se realiza principalmente en valles interandinos y cabeceras de valle, de clima seco, mesotérmicos, ubicados entre 1500 y 3300 msnm. Según el MAGDER (2001), el 82% de los caprinos se encuentra en los valles interandinos y el restante 18% en las regiones de llanuras bajas secas. La mayoría de estas regiones son desfavorecidas en cuanto a clima, suelo, infraestructura, tenencia de

tierra, presión demográfica y accesibilidad a mercados.

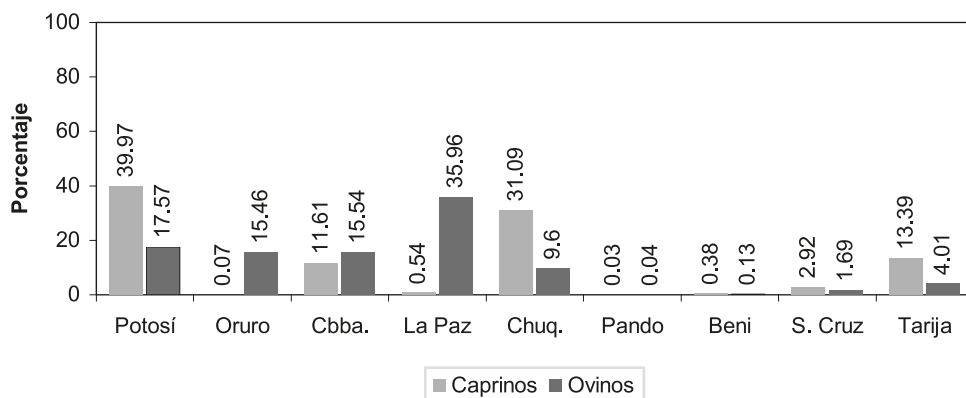
Los criadores de caprinos son pequeños productores, que en su gran mayoría, poseen una a dos hectáreas de tierra cultivable y rebaños mixtos de cabras y ovejas, con 30 a 40 cabezas en promedio.

El Cuadro 1 y la Figura 1, detallan la población caprina en Bolivia, al año 2008, en base a datos del INE (2008).

**Cuadro 1.** Bolivia: número de cabezas de ganado caprino por departamento, según sexo y edad (año 2008)

Departamento	Detalle						
	Total	Machos	Hembras	Menores de 1 año		Mayores de 1 año	
				Machos	Hembras	Machos	Hembras
Chuquisaca	650.189	212.813	437.376	102.212	167.637	110.601	269.739
La Paz	11.383	4.062	7.321	1.860	2.073	2.202	5.248
Cochabamba	242.746	82.917	159.829	35.118	43.285	47.799	116.544
Oruro	1.191	275	916	75	178	200	738
Potosí	835.939	285.991	549.948	131.676	183.941	154.315	366.007
Tarija	280.029	105.145	174.884	53.603	71.736	51.542	103.148
Santa Cruz	61.141	17.025	44.116	11.948	21.242	5.077	22.874
Beni	7.873	1.993	5.880	1.294	2.783	699	3.097
Pando	680	170	510	146	267	24	243
<b>Bolivia</b>	<b>2.091.171</b>	<b>710.391</b>	<b>1.380.780</b>	<b>337.932</b>	<b>493.142</b>	<b>372.459</b>	<b>887.638</b>

Adaptado de: Instituto Nacional de Estadística (Encuesta Nacional Agropecuaria, 2008).



**Figura 1.** Cabezas de ganado caprino y ovino por departamento en Bolivia (en porcentaje) al año 2008

La gran mayoría de las cabras en Bolivia son las llamadas Criollas, descendientes de los primeros caprinos introducidos por los españoles en época de la Colonia. Los censos pecuarios no distinguen entre razas, por tanto no existe información oficial sobre las razas caprinas en el país. Según estimación de las autoras, las cabras Criollas deben

alcanzar más que el 95% de las cabras en Bolivia. Son animales muy bien adaptados a las condiciones ambientales y de crianza prevalentes. Es probable que existan diferentes poblaciones caprinas Criollas, dada la diferencia en eco regiones y variadas condiciones de producción, pero no se realizaron investigaciones al respecto.

A continuación se describe el sistema de producción caprina del departamento de Cochabamba, resultado de investigaciones realizadas por las autoras y sus colaboradores.

## **Generalidades del sistema de producción**

Los criadores de caprinos en los valles interandinos de Cochabamba son mayormente Quechuas. La propiedad de la tierra es predominantemente comunal, en el caso de las praderas, e individual en el caso de los cultivos.

La crianza de cabras es tarea de las mujeres (ayudadas por sus hijos); se ocupan del manejo diario, de crías recién nacidas, de animales enfermos, de cuidar durante el pastoreo, suministrar agua, ordeñar y producir quesillos. Los hombres participan en pocas prácticas de manejo como ser el castrado, el sacrificio y la recolección del estiércol de los corrales y su distribución en los terrenos de cultivos.

## **Tenencia de animales**

Los criadores de caprinos tienen otras especies de animales, como ovinos, que se manejan junto con los caprinos, aves, cerdos, bovinos, équidos y otros. En un estudio realizado en los municipios de Omereque y Mizque, se involucraron 13 familias productoras de rumiantes menores; seis de ellas criaban ambas especies (caprinos y ovinos), tres solamente ovinos y cuatro solamente caprinos.

La preferencia de los productores de criar solo ovinos, la justificaron por su temperamento tranquilo y dócil, por no ser selectivos con los alimentos y por no causar mucho daño a los cultivos.

Los productores que criaban solamente cabras, indicaron que éstas no requieren de mucho manejo, se defienden de algunos depredadores y tienen buena adaptación a medios difíciles (Menacho, 2011).

Según la FAO (2009), la capacidad de los rumiantes menores -en especial de las cabras- de crecer y reproducirse en ambientes difíciles, con pequeñas áreas de cultivo con poco riego o a secano, las vuelve útiles y a menudo fundamentales para los ganaderos pobres.

## **Alimentación**

La alimentación de las cabras se realiza en praderas nativas y también en bosques xerofíticos. El pastoreo se realiza desde las nueve o diez de la mañana hasta las cuatro o cinco de la tarde.

La distancia recorrida durante el pastoreo de los rebaños es de 3.4 a 6.6 km por día, dependiendo de la época del año y de la disponibilidad de forraje (Menacho, 2011).

El uso de árboles forrajeros, para la alimentación de los rumiantes menores, es una práctica realizada por la mayoría de los productores, ya que éstos aportan una fuente importante de nutrientes a los animales.

Cuando el estrato herbáceo se encuentra seco, en la época de estiaje, las especies leñosas altas y bajas aportan frutos y ramas tiernas a la alimentación de los caprinos hasta el rebrote de herbáceas, producido con las primeras lluvias. En un estudio realizado en tres provincias de Cochabamba, se identificaron 125 especies forrajeras consumidas por los caprinos (Ayala, 2002).

Una ventaja de las cabras, comparadas con otras especies animales, es su aptitud de seleccionar las partes más nutritivas de una gama muy amplia de plantas.

## **Instalaciones y manejo**

Los corrales de pernocte son las únicas instalaciones para los caprinos. Están contruidos de ramas de árboles, espinas, piedras y otros materiales, para que las cabras estén protegidas de los depredadores.

El estiércol es utilizado para abonar los cultivos de papa, maíz y verduras. En algunos casos se construyen corrales itinerantes para los rumiantes menores en los terrenos en descanso, de esta manera se ayuda a la reposición de la fertilidad del suelo.

La atención de las crías está a cargo de las mujeres y sus hijas, como también el ordeño, el cual se realiza una vez al día, en horas de la mañana, antes de sacar el rebaño al pastoreo. Se ordeña en la época de lluvias durante 2 a 4 meses, cada hembra por unos 60 días posparto. Las crías permanecen con bozal durante la noche y en el día y toman leche de sus madres a voluntad.

La sanidad de los caprinos generalmente no presenta problemas cuando están en condición alimenticia buena. En cambio, desde Julio hasta las primeras lluvias en Noviembre o Diciembre, surgen problemas sanitarios. Las enfermedades más comunes son la ectima contagiosa en crías, enfermedades gastrointestinales y parasitarias.

Los machos reproductores están en los rebaños permanentemente, y los anima-

les se reproducen durante todo el año, con la sola excepción de épocas de severa falta de forraje.

Los pequeños productores seleccionan entre las crías machos, a los futuros reproductores, y castran o venden los demás. Las crías hembras son seleccionadas también en años favorables, cuando existe un número suficientemente grande, es decir cuando no se necesitan todas para el reemplazo. En este caso, algunas crías hembras se venden o se engordan. En contraste, en años difíciles de alta mortalidad entre las crías, todas las hembras se quedan en el rebaño (Menacho, 2011).

Alrededor de la mitad de las familias caprinocultoras, alguna vez compran cabras de otros propietarios para incorporarlas en su rebaño, mientras que otras familias nunca compran caprinos. A pesar de esto, se supone que no hay un alto grado de consanguinidad en los rebaños, porque la reproducción es poco controlada; así, durante el pastoreo, los machos reproductores acostumbran a caminar hacia los lugares donde otros rebaños están pastoreando y es probable que crucen con estas hembras. Todavía faltan estudios respecto a la consanguinidad existente en los rebaños de pequeños productores.

## **Ventajas de la crianza de caprinos**

Los pequeños productores agropecuarios confrontan riesgos altos en la producción agrícola por precipitaciones pluviales irregulares y limitado acceso a riego suplementario. La estrategia para contrarrestar estos riesgos es la alta diversificación de la producción agrícola y pecuaria.

La crianza de animales es parte integral del sistema de producción, para el pastoreo se utilizan terrenos no aptos para cultivos y el estiércol de los animales sirve para abonar los suelos.

La cabra Criolla, por su tamaño pequeño, fácil manejo, resistencia a enfermedades, adaptación al medio ambiente, fertilidad y menores requerimientos por unidad animal, desempeña un papel importante en la producción de carne, estiércol y leche. No requiere de gran inversión monetaria, por el contrario, se constituye en una reserva financiera de la cual disponen las familias en los tiempos de necesidad para obligaciones sociales o para casos de emergencia.

## Uso de productos

En los sistemas de producción de pequeños productores, la crianza de cabras cumple un rol complementario a la producción agrícola, proporcionando estiércol como abono para los cultivos, leche y carne. El objetivo principal de la crianza de cabras es la obtención del estiércol, producto que es esencial para la agricultura del pequeño productor, por ser la única forma de abonar las tierras.

Al cultivo de papa se incorporan entre 1300 y 11.200 kg de estiércol por hectárea y al maíz entre 360 y 3200 kg/ha (Ayala, 2002). No se descartan animales en función de su eventual utilidad para ser destinados a la obtención de carne o de leche, porque el producto de mayor importancia es el estiércol. Otros productos como carne y leche son comercializados de acuerdo a las necesidades monetarias de la familia.

Menacho *et al.* (2012), en base a una encuesta, indican que tanto en ovinos como caprinos, el producto que tiene mayor importancia para los criadores es el estiércol; así, todas las familias, menos una, nombraron al estiércol como de primera importancia.

El producto de ovinos, que la mayoría de los entrevistados nombró como segundo en importancia, fue el cuero; para los caprinos fue la carne. Para los ovinos siguieron carne y lana, con igual importancia y para los caprinos, leche y cuero, también ambos de igual importancia.

Como tercero en importancia, se nombró el cuero de ovino en una sola respuesta; ningún otro producto de ovinos fue indicado como tercero en importancia. En cambio en el caso de los caprinos, se nombraron cinco veces la leche y cuatro veces el cuero como tercer producto en importancia.

## Mejora genética

La selección, como método de mejoramiento genético, se puede aplicar con éxito cuando (entre otros requisitos) los caracteres de producción y reproducción muestran una variabilidad alta, es decir cuando se pudo determinar un rango amplio entre los peores y los mejores animales.

Estudios realizados por el *Programa Rumiantes Menores* de la FCAPFyV de la UMSS (Stemmer y Valle Zárate, 2011; Stemmer *et al.*, 2005) y por otros investigadores (Campero, 1996; Iñiguez, 1989) se demostró una variabilidad alta (aún después de corregir por efectos ambientales comunes). Por tanto, dada además la adaptación de esta

raza a las condiciones ambientales y de manejo prevalentes, se debe optar por la selección como método de mejoramiento genético. Solo en condiciones de alimentación y manejo mejoradas, las cabras pueden expresar a plenitud su potencial genético. Pero los pequeños productores dueños de rebaños de cabras Criollas sufren limitaciones severas en sus posibilidades de inversión a largo plazo, en el mejoramiento de nutrición, sanidad y manejo en general. Entonces, en los casos donde son imposibles tales inversiones (esto se da en casi la totalidad de las explotaciones caprinas), se vuelven prioritarias las estrategias de mejoramiento genético, dirigidas a proteger el recurso genético local y optimizar su productividad bajo las condiciones actuales.

Contrariamente, la introducción de genotipos exóticos, puede convertirse en un riesgo y perjuicio para los pequeños productores, cuando no pueden asegurar cambios permanentes en la alimentación y atención sanitaria de sus animales. Solo en condiciones de acceso al mercado y de una producción más intensiva, se justifica el cruzamiento con razas exóticas de alto rendimiento.

## **Consideraciones sobre el futuro de la caprinocultura en Bolivia**

- Los planes de desarrollo del sector de pequeños productores de caprinos deben dar prioridad al papel de la mujer como responsable de la crianza. Se debe involucrar a la comunidad y asegurar su participación colectiva para buscar soluciones a los problemas de carga animal excesiva y sobre pastoreo.

- Los caprinos, conjuntamente con los ovinos, son esenciales en la estrategia económica de los pequeños productores; por un lado está su aporte a la seguridad alimentaria y la comercialización de productos y subproductos de los mismos; por el otro lado está el aprovechamiento del estiércol que influye de manera positiva en el flujo de nutrientes y la dinámica de fertilidad del suelo, gracias a la transferencia de nutrientes desde la pradera a los campos de cultivo, mediante la aplicación para la producción agrícola.

- Otro aspecto de importancia para el futuro es el cambio climático. Los productores de animales deberán hacer frente tanto a cambios climáticos lentos como a eventos climáticos extremos más frecuentes. La temperatura en la cordillera tropical andina de Bolivia se incrementó en los últimos 25 años entre 0.32°C y 0.34°C por década (PNUD, 2013). Se han observado tendencias ascendentes de temperatura en las áreas áridas y semiáridas del país y una disminución de la precipitación (PNCC, 2009, citado por PNUD, 2013).

- Los efectos dañinos del calor reducen las tasas de reproducción y producción de los animales. Se precisa de razas capaces de adaptarse a condiciones desfavorables. En base a investigaciones realizadas en el medio, se evidencia la adaptación de la cabra Criolla que se cría en regiones desfavorecidas, resistiendo a pronunciados cambios estacionales de estrés climático y alimenticio. Su adaptación se muestra en la mortalidad baja y buenos índices de reproducción, mientras

que mantienen una producción de leche y carne moderada.

- Se concluye que la crianza de cabras Criollas es importante para aportar a la seguridad alimentaria de pequeños productores y para resguardar los recursos zoogenéticos, los cuales, por su alta variabilidad y rusticidad, serán capaces de adaptarse al cambio climático.

## Referencias citadas

- Ayala, J. 2002. Sistemas de producción caprina en Mizque y Carrasco, Departamento de Cochabamba. Tesis de Grado, FCAP-UMSS, Cochabamba, Bolivia. 114 p.
- FAO. 2009. El ganado, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza. **En:** El estado mundial de la agricultura y la alimentación. FAO. Roma, Italia. pp. 58-63.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2008. Resultados: Encuesta Nacional Agropecuaria - ENA 2008. Parte III. Número de Cabezas de Ganado por Especies, según Sexo y Edad. La Paz, Bolivia. pp. 93.
- Iñiguez, L. 1989. Diagnóstico de los sistemas de producción asociados con pequeños rumiantes en los valles del distrito sur de Cochabamba. Programa de Desarrollo Alternativo de Cochabamba, Bolivia.
- MAGDER 2001. Primer informe sobre la situación de los recursos zoogenéticos de Bolivia. Comité Consultivo, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Unidad de Política Ganadera. La Paz, Bolivia.
- Menacho, M., Stemmer, A. y Ergueta, R. 2012. Sistemas de producción de rumiantes menores en Cochabamba – Bolivia. AICA (Actas Iberoamericanas de Conservación Animal), Vol. 2, pp. 275-278.
- Menacho, M. 2011. Caracterización de los sistemas de producción de rumiantes menores en el Cono Sur del Departamento de Cochabamba. Tesis de grado. FCAP-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 66 p.
- PNUD. 2013. El impacto del cambio climático en la biodiversidad (Bolivia). La Paz. Consultado el 13 de marzo de 2014. Disponible en: <http://www.cambioclimatico-pnud.org.bo>
- Stemmer, A., Valle Zárate, A. 2011. ¿Es posible, es necesaria la mejora genética de animales de traspatio? Ejemplos de Bolivia. **En:** Perezgrovas, R., Rodríguez, G. y Zaragoza, L. (eds.). El traspatio iberoamericano. Experiencias y reflexiones en Argentina, Bolivia, Brasil, España, México y Uruguay. Instituto de Estudios Indígenas, Universidad Autónoma de Chiapas, Red CONBIAND, México. pp. 185-199.
- Stemmer, A., Valle Zárate, A., Altug, T. 2005. Rendimiento productivo y sistemas de producción de la cabra Criolla en la provincia Mizque, Cochabamba. Revista de Agricultura. Nro. 34, abril de 2005. FCAPFyV-UMSS. Cochabamba, Bolivia. pp. 28-31.

*Trabajo recibido el 20 de marzo de 2014*

*Trabajo aceptado el 3 de abril de 2014*

# Selección asistida por marcadores moleculares en el Programa de Mejoramiento Genético de Papa de PROINPA

Julio Gabriel; Silene Veramendi

Fundación PROINPA

E mail: j.gabriel@proinpa.org

**Resumen.** El año 2013, en el Laboratorio de Biología Molecular y Bioinformática de PROINPA, se genotipó dos poblaciones de papa, con el objetivo de realizar la selección asistida por marcadores moleculares (microsatélites, CAPS y SCAR) y co-localizar con los genes R o genes mayores de resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*), verruga (*Synchytrium endobioticum*), al nematodo - quiste (*Globodera pallida* y *G. rostochiensis*) y los virus PVY y PVX. Los resultados mostraron que todos los marcadores aplicados son polimórficos y se han co-localizado con los genes de interés en ambas poblaciones utilizadas en esta investigación. En ambas familias 99268 [tbr x (tbr x sto)] y 99212 [(tbr x tbr) x (phu + gon)], se logró identificar clones resistentes a los factores bióticos evaluados.

**Palabras clave:** Tizón; Verruga; Virus; Nematodos; Polimórficos; Genes Mayores

**Abstract. Molecular markers-assisted selection (MAS) in potato breeding programme from PROINPA.** In the year 2013 at the Molecular Biology and Bioinformatics Laboratory of PROINPA, two potato populations were genotyped in order to perform molecular marker-assisted selection (microsatellite, CAPS and SCAR) and co-localize with R genes or mayor genes resistant to late blight (*Phytophthora infestans*), to wart (*Synchytrium endobioticum*), to the nematode - cyst (*Globodera pallida* and *G. rostochiensis*) and to viruses PVY and PVX. The results showed that all applied markers are polymorphic and have been co-localized with the genes of interest in both populations used in this research. In both families 99268 [tbr x (tbr x sto)] and 99212 [(tbr tbr x) x (phu + gon)], it was possible to identify clones resistant to biotic factors evaluated.

**Keywords:** Late blight; Wart; Virus; Nematodes; Polymorphic; Major genes

## Introducción

El principal objetivo de un programa de mejoramiento genético es la obtención de nuevas variedades con altos rendimientos, características de calidad y resistencias a estreses bióticos y abióticos (Barone, 2004).

Una variedad moderna de papa requiere de la combinación de 50 o más caracte-

res importantes como es el caso de mayor rendimiento, que es el producto de la combinación de factores morfológicos, fisiológicos y ontogenéticos (Estrada, 2000), adaptación a técnicas de manejo en el campo, como son el aporque, control de malezas y distancia de siembra en la cosecha y en el almacenamiento (Van der Zaag y Burton, 1978), resistencia a los factores adversos, abióticos (heladas, sequía, suelos salinos, etc.) y bióticos (enfermedades, insectos, nema-

todos) y calidad, de acuerdo con los fines para los cuales se destina la papa (sólidos totales, compactación, azúcares reductores, tiempo de cocción, propiedades organolépticas, verdeamiento en almacén, contenido de glicoalcaloides, etc.).

Para disminuir el efecto causado por estos factores se requiere conocer cómo se hereda la resistencia de los caracteres. Cuando la herencia se debe a factores mendelianos simples, se pueden obtener progenies seleccionadas con los caracteres deseados. Esto permite una selección temprana en plántulas para reducir la población en estudio, particularmente en la selección de caracteres bióticos.

Sin embargo, muchos de estos caracteres están controlados por muchos genes (poligenes) y con frecuencia, pocas progenies igualan o superan a los progenitores. En consecuencia, se deben obtener grandes cantidades de plántulas (cientos de miles en muchos casos) para seleccionar una variedad mejorada.

Un programa de mejoramiento genético convencional, desarrolla la evaluación de estas progenies (poblaciones) siguiendo una estrategia piramidal, donde se empieza por una amplia base genética, la misma que se evalúa paso a paso iniciando por el factor más importante, luego los individuos sobrevivientes son evaluados a un segundo factor, y así sucesivamente hasta lograr pocos individuos que contengan en su genoma la mayor cantidad de atributos de resistencia (Estrada, 2000). Este proceso en el mejor de los casos requiere entre 6 a 8 años (Ross, 1986). Al final, sólo unos pocos genotipos serán superiores al promedio de los padres, pero eventual-

mente podrían tener ciertas desventajas en relación con los caracteres típicos de otras variedades (Ross, 1986). Además, estos genotipos deben ser evaluados en diversos ambientes (interacción G x A), para conocer su estabilidad fenotípica y su adaptación.

Por otra parte, se debe realizar evaluaciones participativas con actores de la cadena de valor de la papa (agricultores, procesadores, intermediarios y consumidores finales), quienes son los que definirán si un determinado genotipo será o no una variedad utilizada (Almekinders *et al.*, 2006; Vernooy, 2003; Welzien *et al.*, 2003; Ceccarelli *et al.*, 2009).

Por lo mencionado, se podría indicar que la selección asistida por marcadores moleculares (SAM) sería una herramienta valiosa, porque pone a disposición del mejoramiento genético, de técnicas modernas de la biología molecular que puede contribuir para eliminar el efecto ambiental y garantizar la selección genotípica en vez de la fenotípica y así los genotipos que selecciones en campo tendrían incorporados los genes de interés para los factores restrictivos más importantes (Barone, 2004). Además, estos marcadores moleculares pueden aplicarse en una sola prueba y en corto tiempo y no necesariamente paso a paso como lo hace el mejoramiento convencional, reduciendo así el tiempo y espacio en la selección (Barone, 2004). En Bolivia en un trabajo previo Veramendi *et al.* (2011) validaron siete marcadores moleculares en 20 variedades mejoradas de papa. Estos marcadores fueron asociados a genes/QTLs de resistencia para los virus PVY, PVX, los nematodos (*Globodera pallida* y *G. rostochiensis*), el tizón

(*Phytophthora infestans*) y la verruga (*Synchytrium endobioticum*). Pero también existen muchos ejemplos de SAM en papa en el mundo (Barone, 2004; Sliwka *et al.*, 2010; Tiwari *et al.*, 2013; Ottoman *et al.*, 2009; Colton *et al.*, 2006; Sagredo *et al.*, 2009; Ortega y López-Vizcon, 2012, Oberhagemann *et al.*, 1999).

La presente investigación tuvo como objetivo la aplicación de la selección asistida por marcadores moleculares (SAM) para resistencia a enfermedades en un programa práctico de mejoramiento genético.

## Materiales y métodos

### Material biológico

En invernadero fueron sembrados en la campaña 2012, dos familias de papa (Cuadro 1) obtenidas en el programa de mejoramiento genético de papa de la Fundación PROINPA en Cochabamba, Bolivia. Antes de la siembra se sumergió la semilla sexual en una solución de ácido giberélico a 1500 ppm, (disolviendo 0.75 g por medio litro de agua destilada esterilizada) por 24 horas, para romper la dormancia y uniformizar la germinación.

Luego de secar la semilla bajo condiciones de ambiente, fueron sembrados 100 semillas/familia, en bandejas de almácigo utilizando un sustrato esterilizado de musgo, arena y tierra en una proporción 2:1:1. Se sembró 100 semillas/familia y se regaron los almácigos tres veces al día. Al mes de la siembra, las plantas fueron trasplantadas a macetas de 500 g de capacidad en sustrato esterilizado para su crecimiento.

### Condiciones del experimento

El experimento se implementó en un invernadero y en el laboratorio de Biología Molecular y Bioinformática de la Fundación PROINPA, ubicada a 13 km en la zona de El Paso de la provincia Quillacollo en Cochabamba, a 17° 21' 01.91'' de latitud sud y 66° 15' 44.34'' de longitud Oeste, a una altura de 2613 msnm, una precipitación media anual de 512 mm y una temperatura promedio de 17.4°C.

### Genes R de resistencia conocidos

En el Cuadro 2 se describe los genes R de resistencia a tizón (*P. infestans*), nemátodo-quiste (*Globodera rostochiensis*, *G. pallida*), PVY, PVX, verruga (*Synchytrium endobioticum*) e intervalo de marcadores flanqueantes (MF) para cada gen/QTL, recopilados en los 12 cromosomas de la papa.

### Extracción de ADN

En invernadero se colectaron folíolos tiernos y sanos de cada planta en ambas poblaciones, debidamente identificadas y refrigeradas a -20°C, que fueron molidas en nitrógeno líquido (-195°C), del que se utilizó 100 mg para el proceso de extracción de ADN genómico, mediante el protocolo de CTAB 2X (hexadecil bromuro de trimetil amonio) (Doyle y Doyle, 1990).

### Cuantificación de ácidos nucleicos

La cuantificación de ADN genómico, se realizó mediante electroforesis en geles de agarosa al 1%. Las muestras se migraron durante 45 min en cubetas de electroforesis a una potencia de 70 V (5v/cm) y visualizado a través de un transluminador UV marca Biorad.

La calidad y concentración del ADN genómico extraído, se verificó por comparación de intensidad de las bandas de las muestras con cada una de las bandas del marcador de peso molecular de concentración conocida (10000 bp Eurogentec).

### ***Análisis de marcadores***

Se utilizó diferentes marcadores que han sido compendiados en una lista de marcadores potenciales que están ligados y co-localizados con genes mayores para *P. infestans*, *G. pallida*, *G. rostochiensis*, *S. endobioticum*, PVX y PVY en un mapa referencial de papa (Ritter *et al.*, 2005; 2008; 2009). El Cuadro 3 muestra los marcadores utilizados en la presente investigación.

### ***Condiciones de la PCR***

Fue usado unos 15  $\mu$ l de mezcla con 15 ng de ADN Molde, 1X de Tampón PCR 10X, 0.2 mM dNTP, 1 pmol/ $\mu$ L de cada iniciador y 0,025 U/ $\mu$ l de la enzima Tag Polimeraza.

El programa de amplificación fue realizado en un termociclador (modelo PTC-100, MJ Research, Ramsey, Minnesota, USA), que consistió en un tiempo de desnaturalización inicial de 5 minutos del ADN a 94°C, 35 ciclos a 94°C por 1 minuto, temperatura de anillamiento X°C por 45 segundos, y 72°C por 2 minutos, y una extensión final de 7 minutos, según el marcador.

Luego, los productos de amplificación fueron visualizados y cuantificados mediante electroforesis en geles de agarosa al 1.8%, y se aplicó una corriente de 5 V/cm.

Para los marcadores CAPS se realizó análisis PCR y posteriormente se procedió a la digestión del producto de amplificación, utilizando 20  $\mu$ l de mezcla conteniendo 5 ng/ $\mu$ l de ADN Molde, Buffer ER 10X, BSA 10  $\mu$ g/ $\mu$ l y 10  $\mu$ g/ $\mu$ L de la enzima Ddel. Los productos digeridos se separaron por electroforesis en gel de agarosa al 2% preparado con 2 g de agarosa, 100 ml de TBE 1X. La muestra se preparó con 10  $\mu$ l del producto digerido y 2  $\mu$ l de tampón de carga. Los geles se visualizaron en un transluminador marca Biorad.

### ***Análisis de alelos***

Las huellas genéticas generadas por hibridación o por PCR, son heredadas a la descendencia de acuerdo las leyes mendelianas (Valdez-Moctezuma y Kahl, 2005). Es decir, los marcadores segregantes de cada progenie fueron tratados como un sistema de marcador dominante con un patrón de segregación 1:1 o 3:1 según el modelo de segregación mendeliana (ab x aa), (aa x ab) o (ab x ab), donde el alelo “a” representa la ausencia de la banda (0), y el alelo “b” representa la presencia de fragmentos amplificados (1).

Los geles fueron analizados de forma visual, utilizando una matriz de presencia-ausencia del fragmento amplificado para el *QTA-genotyping* (Gabriel, 2008). La presencia o ausencia de cada marcador segregante de las progenes, se almacenó en archivos con formato EXCEL para su posterior análisis estadístico mediante la prueba de  $\chi^2$ .

**Cuadro 1.** Familias, genealogía y origen del material de papa utilizado para SAM. El Paso, 2012.

Familia	Genealogía		Nro. genotipos
	Madre	Padre	
99268	tbr x (tbr x sto)	tbr	79
99212	tbr x tbr	phu + gon	65

Leyendas: tbr: *Solanum tuberosum*; sto: *S. stoloniferum*; adg: *S. andigena*; phu: *S. phureja*; gon: *S. goniocalyx*.

**Cuadro 2.** Genes mayores de resistencia a tizón, nematodo-quiste, PVY, PVX y verruga recopilados en los 12 cromosomas

Nº	Cromosoma	Gen R	MF	Factor	Referencia
1	XI	Ryadg	RYSC3	PVY	Gebhardt <i>et al.</i> (2006)
2	V	RGp5- vrnHC	HC	<i>G. pallida</i>	Sattarzadeh <i>et al.</i> (2006)
3	VII	Gro 1-4	Gro1-4	<i>G. rostochiensis</i>	Gebhardt <i>et al.</i> (2006)
4	IX	Rpi-phu 1	GP94	Tizón	Sliwka <i>et al.</i> (2010)
5	XI	Sen1	NL25	Verruga	Bormann (2004)
6	XII	Rx1	CP60	PVX	Bendahmane <i>et al.</i> (1997)

Leyendas: MF=Intervalos de marcadores flanqueantes para cada QTL/gen.

**Cuadro 3.** Secuencia de los cebadores utilizados para amplificar los correspondientes marcadores para el cribado de QTL/genos conocidos en dos poblaciones de papa

Marcador	Cebador	T° A (°C)	Tamaño (bp)	Protocolo
HC	D: ACACCACCTGTTTGATAAAAACT R: GCCTTACTTCCCCTGCTGAAG	58	276	PCR
Gro1-4	D: TCTTTGGAGATACTGATTCTCA R: CGACCTAAAATGAAAAGCATCT	60	602	PCR
GP 94	D: ATGTATCACAATCACATTCTTGCTC R: TGTAACAACAAGTAGTGTGTC	56	350	PCR
NL-25	D: TAT TGT TAA TCG TTA CTC CCT C R: AGA GTC GTT TTA CCG ACT CC	58	1000	CAPS
RYSC3	D: ATA CAC TCA TCT AAA TTT GAT GG R: AGG ATA TAC GGC ATC ATT TTT CCG A	58	320	SCAR
CP60	D: CAGCCTACCGCGAAAGTGCCCTCG R: GCCAACCCACGAGTTTCTCACTGAC	56	350	CAPS

Leyendas: D: cebador directo; R: cebador reverso; T°A: temperatura de anillamiento; bp: pares de bases, PCR: *Polimeraza Chain Reaction* (Reacción en Cadena de la Polimerasa); SCAR: *Sequence Characterized Amplified Region* (Secuencia Caracterizada de la Región Amplificada); CAPS: *Cleaved Amplified Polymorphic Sequency* (Secuencia polimórfica amplificada y cortada).

## Resultados y discusión

El marcador HC se co-localizó con el gen RGp5-vmHV de resistencia a *G. pallida* en el cromosoma V a una distancia de 276 bp (Figura 1). De 79 genotipos evaluados en la familia 99268, 66 mostraron la presencia de bandas y en 13 hubo ausencia. En el caso de la familia 99212, de 65 genotipos evaluados, 40 mostraron presencia de bandas y 25 ausencias. El análisis de  $\chi^2$  mostró que las bandas observadas se ajustaron a la proporción esperada de 3:1 (Cuadro 4).

El marcador Gro1-4 se co-localizó con el gen Gro1-4 de resistencia a *G. rostochiensis* en el cromosoma VII a una distancia de 602 bp. De los 79 genotipos evaluados en la familia 99268, 16 mostraron presencia de bandas y 63 ausencias. En la familia 99212, de 65 genotipos evaluados, 15 mostraron bandas y 50 ausencias. Ninguna de las familias evaluadas se ajustaron a la proporción esperada 3:1 en la prueba de  $\chi^2$  (Cuadro 4).

El marcador CP60 se co-localizó con el gen Rx1 de resistencia al virus PVX, en el cromosoma XII a una distancia de 1000 bp (Figura 2). De los 79 genotipos evaluados en la familia 99268, 35 genotipos mostraron la presencia de bandas y 44 ausencias. En la familia 99212 de 65 genotipos evaluados, 45 mostraron presencia de bandas y 20 ausencias (Cuadro 4).

El marcador RYSC3 se co-localizó con el gen Ryadg de resistencia al virus PVY a una distancia de 320 bp. De los 79 genotipos evaluados en la familia 99268, 69 mostraron la presencia de bandas y 10 ausencias. En la familia

99212 de 65 genotipos evaluados, 52 mostraron la presencia de bandas y 13 ausencias (Cuadro 4). Para ambos virus solo la familia 99269 mostró un ajuste a la proporción esperada 3:1 en la prueba de  $\chi^2$  (Cuadro 4).

El marcador NL25 se co-localizó con el gen Sen1 de resistencia a *S. endobioticum*, ubicado en el cromosoma XI a una distancia de 1000 bp (Figura 3). De los 79 genotipos evaluados en la familia 99268, 74 mostraron presencia de bandas y cinco ausencias. En la familia 99212 de 65 genotipos evaluados 61 mostraron la presencia de bandas y cuatro ausencias. La prueba de  $\chi^2$  no detectó ajuste a la proporción esperada 3:1 (Cuadro 4).

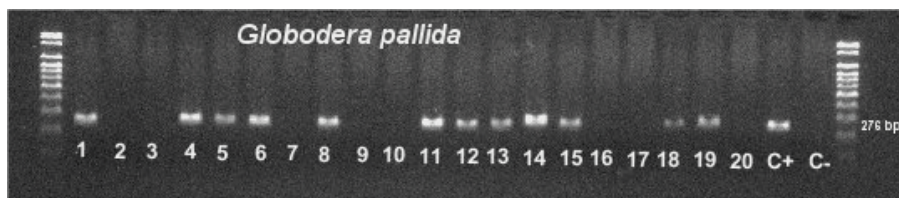
Finalmente, se observó que el marcador GP94 se co-localizó con el gen Rpi-phu1 de resistencia a *P. infestans* en el cromosoma IX a una distancia de 350 bp. De los 79 genotipos evaluados en la familia 99268, 75 mostraron presencia de bandas y en cuatro ausencias de banda. En la familia 99212, todos los genotipos mostraron la presencia de bandas pero no hubo un ajuste a la proporción esperada (Cuadro 4).

Mosquera *et al.* (2008) realizaron una amplia revisión de la resistencia en papa a patógenos, en cuanto a genes mapeados y clonados, y *loci* de rasgos cuantitativos (QTL) mapeados, en la que resaltan las relaciones entre resistencia cuantitativa y cualitativa en el caso *P. infestans*. El conocimiento logrado permitió generar un mapa funcional sobre el cual se localizan QTLs para resistencia a patógenos. Se han mapeado 20 genes *R* o genes mayores de resistencia a virus, hongos, nematodos y oomicetos, utilizando marcadores moleculares.

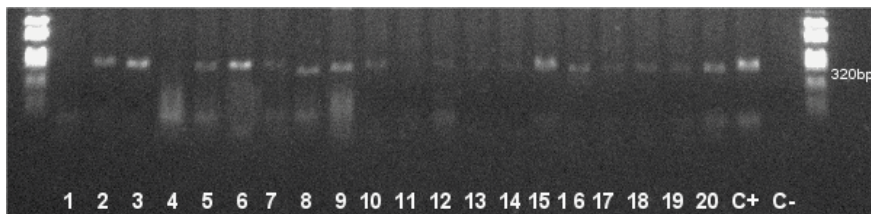
**Cuadro 4.** Determinación del patrón de segregación esperada de los marcadores aplicados en dos familias de papa.

Patógeno	Familia	Marcador	Frecuencia		Segregación	Crom	Prob $\chi^2$	Bandas	
			Presencia (1)	Ausencia (0)				Presencia	Ausencia
<b>G. p.</b>	99269	HC	66	13	3:1	V	0,51 ns	ab, bb=1	aa=0
	99212	HC	40	25	3:1	V	0,62 ns	ab, bb=1	aa=0
<b>G. r.</b>	99269	Gro 1-4	16	63	?	VII	126,28 **	?	?
	99212	Gro 1-4	15	50	?	VII	93,46 **	?	?
<b>PVX</b>	99269	CP60	35	44	?	XII	39,70 **	?	?
	99212	CP60	45	20	3:1	XII	1,15 ns	ab, bb=1	aa=0
<b>PVY</b>	99269	RYSC3	69	10	?	XI	6,42 *	ab, bb=1	aa=0
	99212	RYSC3	52	13	3:1	XI	2,95 ns	ab, bb=1	aa=0
<b>P. i.</b>	99269	GP94	75	4	?	IX	4,33 *	?	?
	99212	GP94	65	0	?	IX	21,67 **	?	?
<b>S. e.</b>	99269	NL25	74	5	?	XI	14,69 **	ab, bb=1	aa=0
	99212	NL25	61	4	?	XI	12,31 **	?	?

Leyendas. ?=Desconocido; Crom=Cromosoma; G.p.=*G. pallida*; G.r.=*G. rostochiensis*; P.i.=*P. infestans*; S.e.=*S. endobioticum*.



**Figura 1.** Alelos de resistencia a *Globodera pallida* en la familia 99268 de papa, co-localizado entre el gen RGP5-vmHV y el marcador molecular HC en el cromosoma V a 276 bp.



**Figura 2.** Alelos de resistencia al virus PVY en la familia 99212 de papa, co-localizado entre el marcador RySC3 con el gen Ryadg en el cromosomas XI a 320 bp.

Leyendas: bandas del 1 al 20: genotipos de hermanos completos; C+: Control positivo, C-: Control negativo.

La mayoría de estos genes *R* fueron introducidos de especies silvestres. Catorce de ellos se encuentran en *hot spots* (puntos concentrados) para resistencia y confieren resistencia a varios patógenos.

A la fecha se han identificado cinco *clúster* (grupos) de resistencia. La resistencia monogénica envuelve dos procesos básicos: percepción del ataque del patógeno, seguida de una respuesta para limitar la enfermedad. La percepción implica receptores específicos para cepas patogénicas, que son decodificadas por genes de resistencia. En una planta se encuentra un gran repertorio de genes de resistencia *R*, ubicados en diferentes sitios del genoma (Mosquera *et al.*, 2008).

Estos genes expresan diferentes proteínas que pueden ser agrupadas en varias familias. La mayoría de proteínas *R* contienen repeticiones en grupos, ricas en leucina (LRR). Se plantea la colocación de genes *R* y QTLs en diferentes cromosomas. Una hipótesis señala que los QTLs son variantes alelicas con efecto menos extremo que los genes *R* y una segunda hipótesis plantea que los QTLs de resistencia mapean en regiones del genoma que contienen genes de función conocida involucrados en la respuesta general al ataque de patógenos.

En el presente estudio, se utilizó marcadores moleculares co-localizados con genes *R* de resistencia a los virus PVY, PVX, al nematodo-quiste (*G. pallida*, *G. rostochiensis*), al tizón (*P. infestans*) y la verruga (*S. endobioticum*) que se encuentran en los cromosomas XI, XII, V, VII, VIII, IX y XI (Brigneti *et al.*, 1997, Hämäläinen *et al.*, 1997, Ritter *et al.*, 1991, Barone *et al.*, 1990, Gebhardt *et al.*, 1993).

Los resultados mostraron que los marcadores moleculares utilizados para asociar los genes de resistencia a múltiples factores, podría ser un método eficiente para asociar con los rasgos de resistencia en las dos familias evaluadas, porque permitió eliminar el efecto ambiental. La utilización de los marcadores ligados a los cinco *loci* *R* de resistencia: HC, Gro 1-4, NL25, RYSC3 y CP60 lograron asociarse con los genes de resistencia RGp5-vrnHC, Gro 1-4, Sen1, Ryadg y Rx1 respectivamente.

La resistencia al virus PVY, es simple y está gobernada por genes *R* mayores, que le confiere un tipo de resistencia monogénica (Mendoza *et al.*, 1996; Mihovilovich *et al.*, 1998; Fernández - Northcote, 1991). En el presente trabajo se observó que de los 144 genotipos evaluados de ambas familias, 121 mostraron la presencia del alelo de resistencia a PVY, probablemente proveniente de las especies de *S. andigena* (Fernández-Northcote, 1981).

En referencia a la herencia a PVX, se menciona que es monogénica y se han reportado genes dominantes de hipersensibilidad  $Nx_{tbr}$  y  $Nb_{tbr}$  que han sido introducidos en diversos cultivares europeos y estadounidenses, especialmente el  $Nx_{tbr}$  (Ross, 1986). El gen  $Nb_{tbr}$  ha sido detectado en diversas especies como *S. andigena*, *S. acaule*, *S. vernei*, *S. tuberosum*, *S. sparsipilum*, *S. chacoense*, *S. microdontum*, *S. etuberosum* y *S. pinatisectum* (Rizvi, 1983; Fernández-Northcote, 1991).

En el caso de la verruga (*S. endobioticum*), el gen de resistencia es monogénico y probablemente proveniente de *S. andigena*. Este carácter está gobernado por un gene dominante y fue detectado en el cromosoma XI en una posición

similar al gen  $Ry_{adg}$  (Helh *et al.*, 1999) y el gen *Sen1* está ligado a genes homólogos N.

En el caso del nematodo del quiste, el análisis de la resistencia se complica porque estos son caracteres poligénicos gobernados por genes menores de herencia cuantitativa (Ross, 1996). En el presente estudio se observó que 106 genotipos de las 144 evaluadas de ambas familias, mostraron el alelo de resistencia para *G. pallida* y 9 de los 144 genotipos mostraron el alelo de resistencia a *G. rostochiensis*. Lo que indica la complejidad de la resistencia de *G. rostochiensis* respecto de *G. pallida*.

Esta resistencia aparentemente está vinculada a la especie *S. palustre* (antes *S. vernei*) y *S. andigena*, que fueron reportadas como resistentes por Ross (1996) y que fueron utilizadas en las cruzas para obtener las familias evaluadas.

La herencia de la resistencia a tizón (*P. infestans*) es compleja y gobernada por muchos genes (poligénica) tal como indican Wastie (1991) y Ross (1996). Sin embargo, en estudios realizados por Colon *et al.* (1995), observaron resistencia parcial conferida por genes R provenientes de especies silvestres como *Solanum arnezii*, *S. holdelmanni*, *S. leptophyes*, *S. berthaultii* y *S. microdonatum*.

Gabriel *et al.* (2011), encontraron resistencia parcial al tizón conferida por genes menores en cruzas realizadas entre especies silvestres como *S. okeadae*, *S. canacense*, *S. bukasovii*, *S. jameisii* and *S. raphanifolium* con especies cultivadas de *S. phureja* y *S. gonio-calyx*. En el presente estudio, 140 de 144 genotipos mostraron tener la banda

del alelo de resistencia a esta enfermedad, que al parecer corresponde a un gen R de resistencia, aunque esto no fue evidenciado por la prueba de  $\chi^2$ .

## Conclusiones

- Los marcadores moleculares, utilizados en las dos poblaciones de papa, mostraron polimorfismo. Esto indica que pueden ser útiles para realizar la SAM en diferentes entornos genéticos.
- Los marcadores moleculares microsatélites, CAPS y SCAR, colocalizaron los genes R de resistencia a tizón, verruga, nemátodos y virus, aunque estadísticamente no se ajustaron a la proporción esperada, indicando esto que al parecer existen otros genes R de resistencia.
- Se encontró que las especies *S. palustre* (silvestre) y *S. andigena* (cultivada), son fuentes valiosas de resistencia para nematodos.

## Referencias citadas

- Almekinders, C., Herdon, J. (eds.). 2006. Bringing back into breeding. Experiences with participatory plant breeding and challenge for institutionalisation. Agromisa Special 5, Agromisa, Wageningen. pp 125.
- Barone, A., Ritter, E., Schachtschabel, U., Debener, T., Salamini, F., Gebhardt, C. 1990. Localization by restriction fragment length polymorphism mapping in potato of a major dominant gene conferring resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. Mol Gen Genet 224: 177-182.
- Barone, A. 2004. Molecular markers-assisted selection for potato breeding. Am J of Potato Res. 81: 111-117.

- Bendahmane, A., Kanyuka, K., Baulcombe, D. 1997. High-resolution genetical and physical mapping of the Rx gene for extreme resistance to potato virus X in tetraploid potato. *Theor Appl Genet* 95: 153-162.
- Bormann, C., Rickert, A., Castillo, R., Paal, J., Lübeck, J., Strahwald, J., Buhr, K., Gebhardt, C. 2004. Tagging quantitative trait loci for maturity-corrected late blight resistance in tetraploid potato with PCR-based candidate gene markers. *Mol. Plant Microbe Interactions* 17(10), 1126-1138.
- Brigneti, G., García-Mas, J., Baulcombe, D. 1997. Molecular mapping of the potato virus Y resistance locus Rysto in potato. *Theor Appl Genet* 94: 198-203.
- Ceccarelli, S., Guimarães, E., Weltzien, E. (eds.). 2009. Plant breeding and farmer participation. FAO, Rome, Italy. 671 p.
- Colon, L., Jansen, R., Budding, D. 1995. Partial resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in hybrids progenies of four South American *Solanum* species crosses with diploid *S. tuberosum*. *Theor Appl Genet* 90: 691-698.
- Colton, L., Groza, H., Wielgus, S., Jiang, J. 2006. Marker-Assisted Selection for the Broad-Spectrum Potato Late Blight Resistance Conferred by Gene RB Derived from a Wild Potato Species. *Crop Science* 46:589-594.
- Doyle, J., Doyle, J. 1990. A rapid total DNA preparation procedure for fresh plant tissue. *Focus* 12:13-15.
- Estrada, N. 2000. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. Bill Hardy, Emma Martínez (Ed.) La Paz, Bolivia. 372 p.
- Fernandez-Northcote, E. 1991. Mejoramiento por resistencia a los principales virus de la papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*. 4:1-21.
- Fernández-Northcote, E., Brown, C. 1981. Resistance in diploid *Solanum phureja*, *S. stenotomun*, and *S. berthaultii* intercrosses to potato virus Y. (Abstr.) *Phytopathology* 81:873.
- Gabriel, J. 2008. Aplicación de marcadores moleculares para el cribado de QTLs en diferentes fuentes de resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en papa. Tesis Doctoral, Universidad Pública de Navarra (UPNA), Pamplona, España. 109 p.
- Gabriel, J. 2010. Documento marco: Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia. 60 p.
- Gabriel, J., Ruiz de Galarreta, J., Lopez-Pardo, R., Barandalla, L., Alvarado, C., Ritter, E. 2011. Short communication. Introgression of late blight (*Phytophthora infestans* L.) resistance from tuber-bearing *Solanum* wild species into cultivated potato. *Spanish J Agric Res* 9 (1): 193-197.
- Gebhardt, C., Mugniery, D., Ritter, E., Salamini, F., Bonnel, E. 1993. Identification of RFLP markers closely linked to the H1 gene conferring resistance to *Globodera rostochiensis* in potato. *Theor Appl Genet* 85: 541-544.
- Gebhardt, C., Bellin, D., Henselewski, H., Lehmann, W., Schwarzfischer, J., Valkonen, J. 2006. Marker-assisted combination of major genes for pathogen resistance in potato. *Theor Appl Genet* 112: 1458–1464.
- Hämäläinen, J., Watanabe, K., Valkonen, J., Arihara, A., Plaisted, R., Pehu, E., Miller, L., Slack, S. 1997. Mapping and marker-assisted selection for a gene for extreme resistance to potato virus Y. *Theor Appl Genet* 94: 192-197.
- Hehl, R., Faurie, E., Hesselbach, J., Salamini, F., Whitham, S., Baker, B., Gebhardt, C. 1999. TMV resistance gene N homologues are linked to *Synchytrium endobioticum* resistance in potato. *Theor Appl Genet* 98:379–386.
- Mendoza, H., Mihovilovich, E., Saguma, F. 1996. Identification of triplex (YYYY) Potato virus Y (PVY) immune progeni-

- tors derived from *Solanum tuberosum* ssp. *andigena*. Am. Potato J. 73: 13-19.
- Mihovilovich, E., Salazar, L., Saguma, F., Bonierbale, M. 1998. Survey of the durability of extreme resistance to PVY derived from *Solanum tuberosum* ssp. *andigena*. pp. 123-128. In: CIP program report 1997-1998. Lima, Perú.
- Mosquera, T., Fernández, C., Martínez, L., Acuña, A., Cuéllar, D. 2008. Genética de la resistencia de la papa (*Solanum tuberosum*) a patógenos. Estado de arte. Agronomía Colombiana 26(1), 7-15.
- Oberhagemann, P., Chalot-Balandras, C., Bonnel, E., Schäfer-Pregl, R., Wegener, D., Palomino, C., Salamini, F., Gebhardt, C. 1999. A genetic analysis of quantitative resistance to late blight in potato: Towards marker assisted selection. Mol Breeding 5: 399-415.
- Ortega, F., Lopez-Vizcon, C. 2012. Application of molecular marker-assisted selection (MAS) for disease resistance in a practical potato breeding programme. Potato Res. 2012;55:1-13.
- Ottoman, R., Hane, D., Brown, C., Yilma, S., James, S., Mosley, A., Crosslin, J., Vales, M. 2009. Validation and Implementation of Marker-Assisted Selection (MAS) for PVY Resistance (Ryadg gene) in a Tetraploid Potato Breeding Program. Am. J. Potato Res (2009) 86:304-314.
- Ritter, E., Debener, T., Barone, A., Salamini, F., Gebhardt, C. 1991. RFLP mapping on potato chromosomes of two genes controlling extreme resistance to potato virus X (PVX). Mol Gen Genet 227: 81-85.
- Ritter, E., Lucca, F., Sánchez, I., Ruiz de Galarreta, J., Aragonés, A., Castañón, S., Bryan, G., Waugh, R., Lefebvre, V., Rousselle-Bourgoise, F., Gebhardt, C., van Eck, H., van Os, H., Taco, J., Bakker, J. 2005. Genomic resources in potato and possibilities for exploitation. pp. 55-64. In: Potato in progress (Eds.: Haverkort A. & P. Struik), Wageningen Academic Publishers, Holanda.
- Ritter, E., Ruiz de Galarreta, J., Hernandez, M., Plata, G., Barandalla, L., Lopez, R., Sanchez, I., Gabriel, J. 2009. Utilization of SSR and cDNA markers for screening known QTLs for late blight (*Phytophthora infestans*) resistance in potato. Euphytica 170: 77- 86.
- Ritter, E., Ruiz de Galarreta, J., van Eck, H., Sánchez, I. 2008. Construction of a potato transcriptome map based on the cDNA-AFLP technique. Theor Appl Genet 7 (16): 1003-1013.
- Rizvi, S. 1983. Extreme resistance to potato leafroll virus (PLRV) in seedlings of *Solanum tuberosum* x 5. pinatisectum (EP) with 4X chromosomes. In: Research for the potato in the year 2000. W.J. Hooker (ed). International Potato Center, 1982. Lima, Perú, 162 p.
- Ross, H. 1986. Potato breeding-problems and perspectives. pp. 1-132. In: Horn, W y Röbbelen, G. (eds.). Advances in Plant Breeding 13. Berlín y Hamburgo.
- Sagredo, B., Mathias, M., Barrientos, C., Acuña, I., Kalazich, J., Santos Rojas, J. 2009. Evaluation of a SCAR RYSC3 marker of the Ryadg gene to select resistant genotypes to potato virus Y (PVY) in the INIA potato breeding program. Chilean J Agric RES 69 (3): 305-315.
- Sattarzadeh, A., Achenbach, U., Lübeck, J., Strahwald, J., Tacke, J., Hofferbert, H., Rothsteyn, T., Gebhardt, C. 2006. Single nucleotide polymorphism (SNP) genotyping as basis for developing a PCR-based marker highly diagnostic for potato varieties with high resistance to *Globodera pallida* pathotype Pa 2/3. Mol Breed 18:301-312.
- Sliwka, J., Jakuczun, H., Kamiński, P., Zimnoch, E. 2010. Marker-assisted selection of diploid and tetraploid potatoes carrying Rpi-phu1, a major gene for resistance to *Phytophthora infestans*. J Appl Genet 51(2): 133-140.

gene for resistance to *Phytophthora infestans*. J Appl Genet 51(2): 133–140.

Tiwar, J., Siddappa, S., Singh, B., Kaushik, S., Chakrabart, S., Bhardwaj, V., Chandel, P. 2013. Molecular markers for late blight resistance breeding of potato: an update. Plant Breeding 132: 237–245.

Valdez-Moctezuma, E., Kahl, G. 2005. Hue-llas de ADN en genomas de plantas. Mundi-Prensa, México. Universidad Autónoma de Chapingo. 147 p.

Van der Zaag, D., Burton, W. 1978. Potential yield of the potato crop and its limitation. pp. 23-33. In: Triennial Conf. Eur. Ass. Pot. Res. Warsaw, survey papers.

Veramendi, S., Baldelomar, M., Terán, A., Gabriel, J. 2011. Marcadores moleculares asociados a genes/QTLs de resistencia para factores bióticos en nuevas variedades de papa (*Solanum*

*tuberosum* L.) de Bolivia. Revista Latinoamericana de la Papa 16 (2): 209 – 232.

Vernooy, R. 2003. Seeds that give: Participatory Plant Breeding, IDRC, Canada. *En línea*. Disponible en: <http://www.google.com.bo/url> Consultado el 25/09/2013.

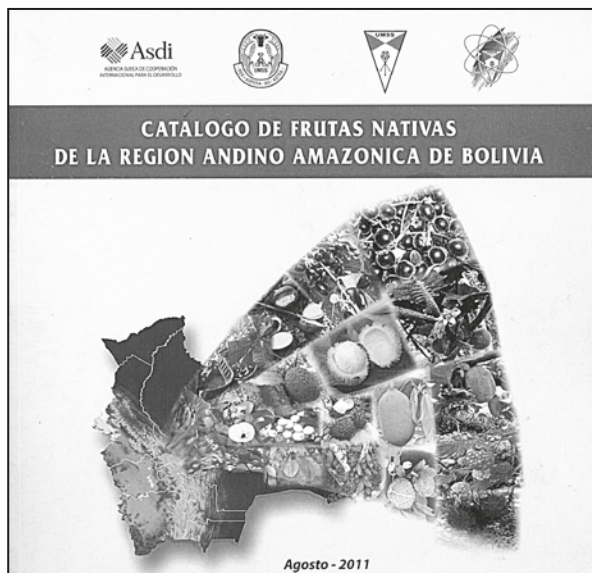
Wastie, R. 1991. Breeding for resistance. In: D. Ingram and P. Williams (eds.). *Phytophthora infestans*, the Cause of Late Blight of Potato. Vol 7. Academic Press, London. pp. 192-224.

Welzien, E., Smith, M., Meitzner, L., Sperling, L. 2003. Technical and institutional issue in participatory plant breeding – from perspectives of formal plat breeding. A global analysis of issue, results, and current experience. PPB Monograph Nro. 1. PRGA Programme, Cali, Colombia.

Trabajo recibido el 28 de febrero de 2014

Trabajo aceptado el 28 de marzo de 2014

## PUBLICACIÓN DESTACADA:



**Autores:** Ramiro Iriarte; Eduardo Mendoza; Juan Villarroel.

**Año de publicación:** 2011.

**Nro. de páginas:** 102

**Referencias:** Depto. de Ingeniería FCAPFyV-UMSS; telf. 4762383 (Cochabamba) e.mendezagarcia@yahoo.es

Valiosa publicación que presenta información sobre *familia, género, nombres comunes, lugar de recolección (altitud, latitud y longitud) usos y descripción botánica* para 99 especies de frutales nativos amazónicos recolectados en Bolivia.

## Crecimiento de especies forestales nativas en sistemas agroforestales en la zona de Valle Sacta

Casimiro Mendoza <sup>1</sup>; Edwards Sanzetenea <sup>2</sup>; Fimo Alemán <sup>3</sup>

<sup>1</sup> CATREN/UMSS; <sup>2</sup> ESFOR/UMSS; <sup>3</sup> Docente Investigador FCAPFyV - UMSS

E mail: c\_mendozab@hotmail.com

**Resumen.** A partir del año 2003, se establecieron parcelas permanentes de muestreo de plantaciones, para siete especies forestales nativas en seis prácticas agroforestales. Se realizaron evaluaciones anuales, midiendo el comportamiento de los árboles bajo estas prácticas, y a la vez transmitiendo y difundiendo, las técnicas de evaluación y monitoreo. Cada práctica agroforestal tuvo tres repeticiones. Las especies forestales fueron distribuidas aleatoriamente en filas de doce árboles. Los mayores porcentajes de sobrevivencia se dieron en las prácticas agroforestales de "plátano en producción decreciente" con 88% y de "barbecho" con 87%. Las otras prácticas presentaron baja sobrevivencia. La mayor mortandad se presentó en el sistema agroforestal de "plátano-cítrico-coca", esto debido al corte de plántulas por terceras personas (erradicadores de coca). El mayor crecimiento (en un lapso de cuatro años) se dio en *serebó*, *coco*, *tejeyeque* y *curupaú* con 11.5 m, 7.25 m, 6.9 m y 13.1 m de altura, respectivamente. Con menor crecimiento se tuvo al *verdolago*, *yesquero* y *jorori colorado*. Este estudio requiere aún de seguimiento ya que los resultados solo abarcan un periodo de cuatro años, tiempo en el cual las especies evaluadas, mostraron buena adaptación en todas las prácticas agroforestales, desarrollando diámetros y alturas aceptables.

**Palabras clave:** Prácticas Forestales; Adaptación y Desarrollo; Árboles Forestales

**Abstract. Growth of native forest species in agroforestry systems of the zone of Sacta Valley.** Since 2003, permanent plots of plantations sampling were established, for seven native forest species, in six agroforestry practices. Annual evaluations were performed by measuring the behavior of trees under these practices, and also transmitting and spreading assessment and monitoring techniques. Each agroforestry practice had three replicates. The forest species were randomly distributed in rows of twelve trees. The highest percentages of survival took place in the agroforestry practices of "banana in decreasing production" with 88% and of "fallow", with 87%. The other practices presented low survival rates. The highest death rate occurred in the agroforestry system of "banana - citrus - coca", due to the cut of seedlings by third individuals (coca eradicators). The highest growth (within four years) was observed in *serebó*, *coco*, *tejeyeque* and *curupaú* with 11.5 m, 7.25 m, 6.9 m and 13.1 m in height, respectively. Lower growth was observed in *verdolago*, *yesquero* and *jorori colorado*. This study still requires further monitoring, because the results cover just a period of four years, time in which the evaluated species *Tejeyeque*, *coco* and *serebó* showed a good adaptation to all agroforestry practices, developing acceptable diameters and heights.

**Keywords:** Forestry Practices; Adaptation and Development; Forest Trees

# Introducción

La región subtropical de Cochabamba, en la actualidad, muestra diversos grados de degradación del bosque y de los suelos, por causa de la deforestación, mal uso y manejo inadecuado de los recursos naturales. Una opción para coadyuvar en la solución de esta problemática, es el uso de variedades forestales nativas, en asociación con cultivos anuales y semi-perennes, en un esquema de sistema agroforestal, buscando alternativas que signifiquen el uso sostenible de los recursos naturales y la mejora en la calidad de vida de los agricultores. El objetivo general del trabajo fue evaluar el comportamiento, de siete especies forestales tropicales nativas, en diferentes sistemas agroforestales, a fin de evaluar alternativas productivas para aumentar los ingresos económicos de productores de la zona de estudio.

## Materiales y métodos

Las parcelas de investigación, con una edad de cuatro años de edad desde su establecimiento, se encuentran localizadas en Valle Sacta, dentro del municipio de Valle Ivirza, provincia Carrasco del departamento de Cochabamba, encajonadas entre los ríos Sacta e Izarsama – Zabala, con elevaciones de 195 a 250 msnm (Mendoza, 2003). Las plantaciones agroforestales fueron establecidas el año 2003, en cinco propiedades de agricultores, con 15 parcelas, en bloques completamente al azar con dos a cuatro repeticiones en cada propiedad.

Para esta investigación se utilizaron siete especies forestales nativas, intercaladas en hileras de doce árboles de cada especie, repetidas en las 15 parcelas (de 28 \* 48 m). En cada propiedad se tenía

uno a dos sistemas agroforestales, asociados con diferentes cultivos semi-perennes, entre los cuales se tiene al cultivo de plátano (*Musa sp.*) -antiguo y nuevo-, palmito (*Bactris gasipae*), cacao (*Theobroma cacao*), cítrico-plátano-coca (*Citrus sp.* - *Musa sp.* - *Erythroxylum coca*) y barbecho. Estadísticamente, las plantaciones forestales en cada sistema agroforestal, fueron consideradas como una réplica (Figura 1). Se tomaron muestras de suelo representativas de las parcelas. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Aguas de la FCAPFyV-UMSS. Las variables de respuesta consideradas fueron:

- Variables de evaluación dasométrica: altura total y comercial; diámetro altura pecho; longitud y forma de fuste.
- Mortandad.
- Incrementos de diámetro y alturas de las especies maderables. Para determinar el incremento volumétrico, se realizaron varias evaluaciones anuales del diámetro altura pecho, altura comercial y total, forma y calidad de fuste. El cálculo del incremento corriente anual (ICA) se realizó mediante la siguiente fórmula.

$$ICA = \frac{\text{Incremento}}{\text{Diferencia de tiempo}}$$

El análisis estadístico de los datos fue realizado con el programa estadístico InfoStat ® (2004), con valores promedio, obtenidos de las evaluaciones de altura comercial y total, diámetro altura pecho y mortandad, por especies, parcelas, sistemas agroforestales y tipos de suelo.

	1	2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	12
Fila y sp. 1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Fila y sp. 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Fila y sp. 3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Fila y sp. 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fila y sp. 5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Fila y sp. 6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Fila y sp. 7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

48 m

**Figura 1.** Croquis de parcela con siete especies en hileras de doce árboles, al azar entre filas (cada número diferente corresponde a una especie forestal)

## Resultados y discusión

### *Análisis físico de suelos*

La clasificación del suelo por sistema agroforestal, mostró que las especies asociadas con *palmito*, *plátano-cítrico-coca* y *cacao*, corresponden a un suelo franco arcilloso. En *barbecho* se presentó un suelo franco; en *plátano nuevo* se tuvo suelos franco arcillo-limosos y finalmente, el sistema agroforestal asociado con plantación de *plátano antiguo*, tuvo un suelo arcillo-limoso. El pH de los suelos fue ácido, con rangos de 4.9 a 5.2. De manera general, se reportó valores altos en aluminio y acidez intercambiables en todos los sistemas agroforestales considerados, con rangos de 2.46 meq/100 g a 8.30 meq/100 g. En materia orgánica se tuvo un rango de 3.1% a 5%. Según Sánchez (1981), los suelos tropicales tienen contenidos bajos de materia orgánica debido a las altas temperaturas y rápidas tasas de descomposición.

Las diferencias de suelos pueden atribuirse al tipo de uso y manejo que realiza el agricultor en sus parcelas.

### *Mortandad*

La mortandad media de las siete especies forestales fue de 25%. Las especies con mayor mortandad fueron *coco*, *yesquero* y *verdolago*, esto debido a que estas especies no son aptas para el tipo de sistema asociado y en algunos casos (*coco*), las plántulas fueron cortadas con machete por los agricultores. La causa de la mortandad se debió al desinterés por parte del agricultor y la calidad de fustes. En la especie *curupaú*, el crecimiento del fuste fue irregular, denominado de calidad 2, en comparación con la especie *coco* que generalmente tiene el fuste recto y la madera es liviana y más fácil de manejar (Cuadro 1).

### *Diámetro y altura total*

*Diámetros a la altura pecho (DAP).* Presentan mayores valores en las especies *serebo*, *coco* y *tejeyeque*; menores valores se dan en las especies *curupaú*, *verdolago*, *yesquero* y *jorori colorado* (Figura 2). Estos resultados permiten clasificar tres categorías: el *serebo* de **rápido crecimiento**, el *coco* y *tejeyeque* de **mediano crecimiento** y *curupaú*, *verdolago*, *yesquero* y *jorori colorado* de **lento crecimiento**.

**Cuadro 1.** Mortandad (%) de las especies forestales por sistemas agroforestales

Especie forestal nativa	Sistema agroforestal						Media
	Barbecho	Cacao	Palmito	Plátano antiguo	Plátano nuevo	Plátano / Cítrico / Coca	
<b>Coco</b>	22	33	46	11	47	42	<b>34</b>
<b>Curupaú</b>	8	8	8	0	28	29	<b>14</b>
<b>Jorori Colorado</b>	3	33	8	11	44	29	<b>21</b>
<b>Serebó</b>	33	8	8	47	22	33	<b>25</b>
<b>Tejeyequé</b>	6	13	4	6	19	25	<b>12</b>
<b>Verdolago</b>	11	25	75	3	44	54	<b>35</b>
<b>Yesquero</b>	11	46	13	6	56	71	<b>34</b>
<b>Media</b>	<b>13</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>25</b>

El análisis de varianza de DAP indica que existen diferencias significativas entre sistemas agroforestales, lo que muestra que los sitios tienen un potencial diferente para el desarrollo de especies forestales, en este caso, nativas. Así, el diámetro altura pecho, por sistema agroforestal, reportó los mayores valores en el sistema *cacao* con 9.3 cm y 8.8 cm en el sistema *plátano nuevo*. Menores valores se tuvo en los sistemas *barbecho* con 5.6 cm y *plátano antiguo* con 6 cm de diámetro.

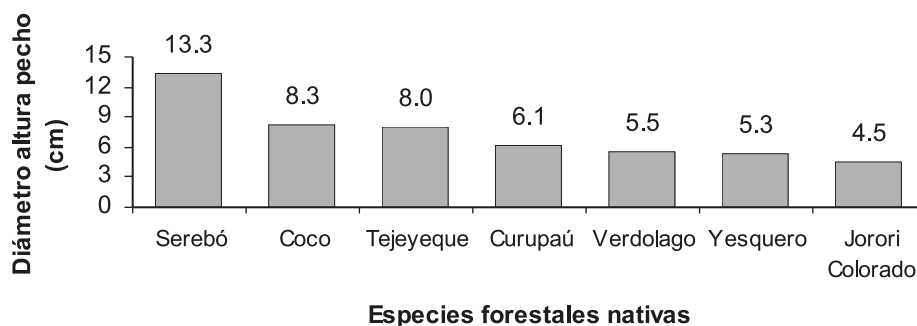
*Altura total.* La especie forestal nativa *serebó* alcanzó alturas de 8.5 m a 14.8 m, *coco* entre 5.3 m a 9 m y *tejeyequé* entre 5.7 m a 8.4 m. Con menor desarrollo se tuvo a las especies *jorori colorado* con 2.9 m a 5.8 m, *yesquero* con 1.6 a 6 m y *verdolago* con 4.1 m a 5.3 m.

La especie *serebó*, por sistema agroforestal, tuvo mayor crecimiento en las plantaciones de *palmito*, alcanzando 14.8 m; en *plátano nuevo* llegó a 13.1

m, y en *barbecho* y *cacao* a 12.1 m y 11.6 m, respectivamente. En el sistema *plátano - cítrico - coca* esta especie llegó a 8.5 m, en *plátano antiguo* a 8.8 m en un tiempo de 4 años.

Para la especie *coco*, los mayores valores de crecimiento se dieron en el sistema cacao, palmito y barbecho con 9 m, 8.8 m y 7.3 m de altura, respectivamente. Menor desarrollo se tuvo en el sistema de plátano nuevo, plátano antiguo, plátano-cítrico-coca con 5.3 m, 6.5 m y 6.6 m de altura total, respectivamente.

Para el *tejeyequé*, que se ubica en tercer lugar entre las siete especies, los mayores valores se presentaron en el sistema palmito con 8.4 m, plátano-cítrico-coca con 7.3 m, y en cacao y plátano nuevo con 7 m de altura. Un menor crecimiento para esta especie se dio en el sistema plátano antiguo, con 5.7 m y en barbecho 5.8 m. Esta especie es poco resistente a la competencia vegetativa y la textura arcillo limosa del suelo, ya que el *tejeyequé* requiere suelos francos.



**Figura 2.** Diámetro altura pecho en siete especies forestales nativas

El análisis estadístico para la variable altura total, mostró diferencias significativas entre especies y entre sistemas agroforestales. El promedio de todas las especies fue de 6.12 m. El *serebó* se muestra con los mayores valores, seguido del *coco* y *tejeyeque*. Con menor crecimiento se encuentran las especies *yesquero*, *jorori colorado* y *verdolago*.

La altura promedio, por sistema agroforestal, varió de 5.5 m a 7.9 m, mostrando diferencias significativas entre especies y sistemas agroforestales y parcelas, teniendo un potencial diferente cada uno de ellos.

### **Incrementos de diámetro**

El Incremento Corriente Anual (ICA) de las especies forestales se muestra en la Figura 3. Las diferencias son significativas para la especie *serebó*, debido a que las otras especies provienen de diferentes sitios y árboles semilleros, otra razón puede ser que éstas especies son poco competidoras con las plantaciones agrícolas y perennes, cediendo rápidamente en el crecimiento, por efecto de la competencia por luz, agua y nutrientes. Justiniano *et al.* (2002), mencionan que el *verdolago* es una especie de crecimiento lento ya que su incremento de diámetro promedio, en un bosque primario, es de 2.12 mm/año. Esto indica

que esta especie se adapta mucho mejor en la zona de estudio.

### **Comportamiento general y global de las siete especies forestales nativas**

El *serebó* es la especie que respondió de mejor manera en cuanto el crecimiento en altura, con menor crecimiento se tuvo a especie *jorori colorado*, en un lapso de tres años, desde el establecimiento del ensayo (Figura 4). Estas diferencias se deben a que las especies consideradas tienen crecimiento diferente, mostrando estadísticamente que el *serebó*, es de rápido crecimiento y se adapta muy bien a los sistemas agroforestales evaluados. De manera general, las condiciones climáticas fueron adecuadas. Influyeron también los cuidados realizados por el agricultor.

### **Conclusiones**

- Según los análisis estadísticos, las especies y sistema agroforestales muestran un comportamiento diferente. No se tuvo efectos significativos como efecto de las diferencias físico - químicas de los suelos.
- Los suelos de las parcelas son pesados y no existen variaciones significativas entre los sistemas agroforestales.

tales. Estos factores, aparentemente, estarían actuando como limitantes para el desarrollo de algunas especies forestales y agrícolas.

- Las especies *serebó*, *coco* y *tejeyeque*, muestran un alto potencial de adaptación y mejor comportamiento en los sistemas agroforestales de *palmito*, *cacao* y *plátano nuevo*, en comparación de los otros tres sistemas: *barbecho*, *plátano-cítrico-coca* y *plátano antiguo*.
- Los mayores incrementos en diámetro y altura total de planta, se dieron en el *serebó*, *coco* y *tejeyeque*, especies aptas para la implementación en todos los sistemas agroforestales

considerados, ya que son competidoras con los cultivos agrícolas y muestran características de rápido crecimiento.

- Se registró un óptimo desarrollo de las especies forestales en los sistemas agroforestales de *palmito* y *cacao*.
- Se sugiere realizar estudios adicionales de análisis foliar para determinar los nutrientes que realmente necesita cada especie forestal, para así determinar las deficiencias de los nutrientes que existen en el suelo.

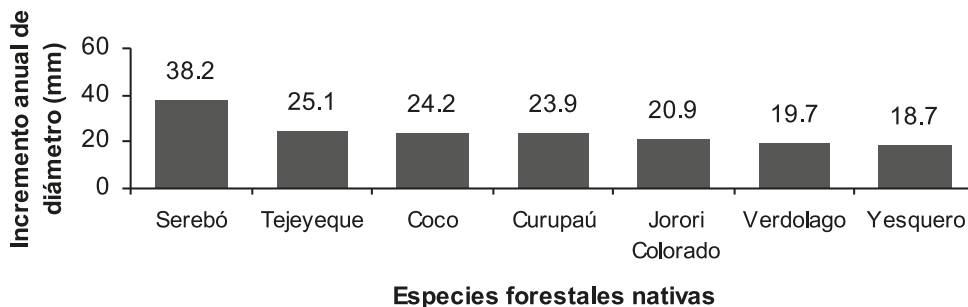


Figura 3. Incremento corriente anual de diámetro para especies forestales nativas

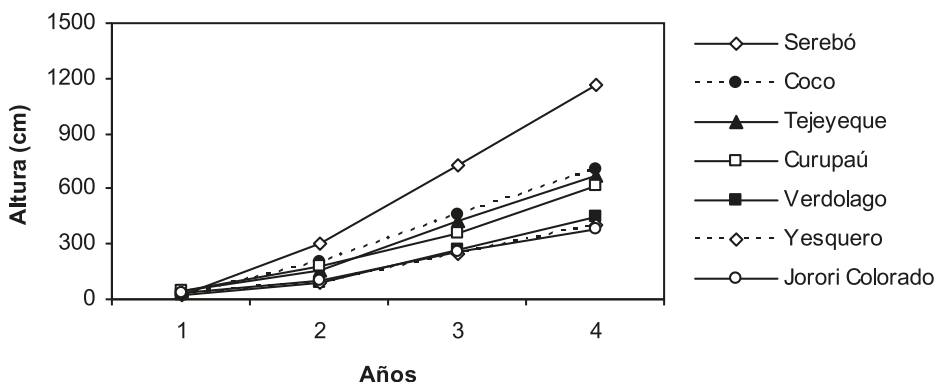


Figura 4. Altura promedio por sistema agroforestal para especies forestales nativas

## Referencias citadas

InfoStat. 2004. InfoStat v. 2004. Grupo InfoStat FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Justiniano, M.; Pariona, W.; Nash, D. 2002. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas – Verdolago amarillo *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pavón). Steudel, Combretaceae. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. 37 p.

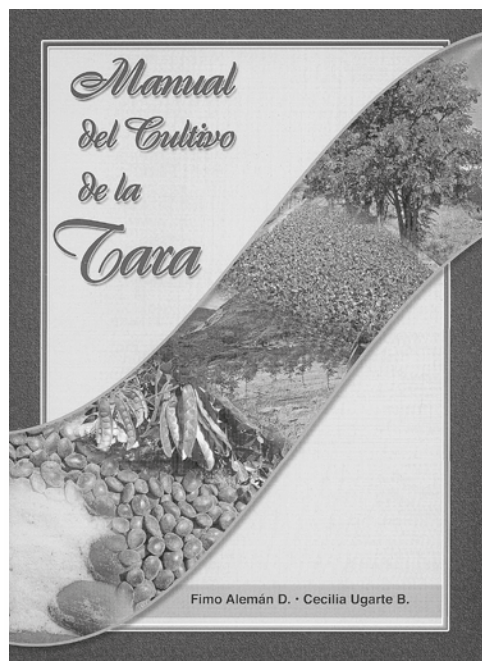
Mendoza C. 2003. Informe Técnico anual de ensayos de plantaciones forestales. FOMABO Sacta. Cochabamba, Bolivia.

Sánchez P. 1981. Suelos de Trópico, Características y Manejo. Traducido del inglés por E. Camacho. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 1ra. Ed. San José, Costa Rica.

*Trabajo recibido el 22 de marzo de 2013*

*Trabajo aceptado el 25 de marzo de 2014*

## PUBLICACIONES DESTACADAS:

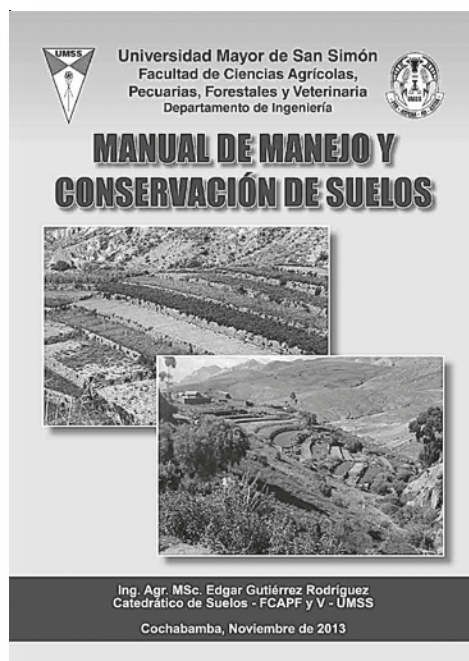


**Autores:** Fimo Alemán; Cecilia Ugarte.

**Año de publicación:** 2011.

**Nro. de páginas:** 40

**Referencias:** fimo\_ad@yahoo.es  
ESFOR; BASFOR (Cochabamba)



**Autor:** Edgar Gutiérrez.

**Año de publicación:** 2013.

**Nro. de páginas:** 32

**Referencias:** Depto. de Ingeniería  
FCAPFyV-UMSS (Cochabamba)

## Evaluación de modelos matemáticos indirectos, para cuantificar la acumulación de horas frío y días grado, en las zonas frutícolas de San Benito en Cochabamba

Eduardo Mendoza García

*Docente: Fruticultura de Valle - Departamento de Fitotecnia (FCAyP- UMSS)*

*E mail: e.mendozagarcia@yahoo.es*

**Resumen.** Debido a la necesidad de contar con información adecuada sobre la acumulación de *horas frío* (HF) y *horas grado* (DG) para la región de San Benito, en el Valle de Alto de Cochabamba, en el periodo 2008 y 2009, se recopiló información meteorológica de 40 años de temperaturas de la Estación Experimental de San Benito. Los datos fueron proporcionados por el *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología* (SENAMHI), para su evaluación y posterior determinación y cuantificación de *horas frío* y *días grado*, acumulables en esta región. Con toda la información, se seleccionó y evaluó 14 modelos matemáticos. Los resultados demuestran que los modelos más adecuados para la cuantificación de horas frío, para esta región productora de durazneros, son los modelos propuestos por *Damota* (1979), considerando los meses de junio a agosto y *Crossa Raynoud modelo C3*, cuantificando un valor de acumulación entre 350 a 420 HF para la región de San Benito. En relación a las *horas grado* o *días grado*, los modelos que expresan mejor resultado de cuantificación, son el *Método Residual* y el de *Monteith* (1984), cuantificando un rango entre 1200 a 1400 DG. Los resultados fueron comparados con otros trabajos de fenología y tratamientos de *horas frío*, en estacas de variedades conocidas de durazneros, manzanos y ciruelos, donde se muestran resultados similares, acumulando HF desde hoja caída hasta el inicio de floración, con un valor de 350 HF en variedades como *Princesa* (en manzano) y *Gumucio Reyes* (en duraznero). Comparando el comportamiento de la acumulación de HF por décadas, se determinó que hubo una disminución de hasta 25% en la cantidad acumulada de HF en los últimos 40 años. Se recomienda continuar con investigaciones complementarias de estos modelos matemáticos en otras regiones productoras de frutales, a fin de validarlos y posteriormente elaborar cartas climáticas, especificando regiones climáticas en base a la acumulación de *horas frío*.

**Palabras clave:** Regiones Climáticas; Frutales Caducifolios; Fenología

**Abstract.** **Evaluation of indirect mathematical models, to quantify the accumulation of Cold Hours and Days Grade, in the fruit zones of San Benito in Cochabamba.** Due to the need for adequate information of the accumulation of Cold Hours (HF) and Hours Degree (DG) for the San Benito region in the High Valley of Cochabamba, during 2008 and 2009, it was collected meteorological information of temperatures of 40 years from the experimental station of San Benito. The data was provided by the *National Service of Meteorology and Hydrology* (SENAMHI) for evaluation and posterior determination and quantification of Cold Hours and Days Degree, accumulative in this region. With all the information, 14 mathematical models were selected and evaluated. The results show that the most adequate models for de quantification of Cold Hours for these peach producer region, are the models proposed by *Damota* (1979), considering the months from June to August, and *Crossa Raynoud model C3*,

quantifying a value of accumulation between 350 to 420 HF for the region of San Benito. In relation to the Hours Degree or Days Degree, the models that express a better quantification result, are the Residual Metho and the Monteith (1984), quantifying between a range of 1200 to 1400 DG. The results were compared with other phenology studies and Cold Hours treatments, on stakes of known varieties of peach, apple and plum trees, where it is showed similar results, accumulating HF from the fallen leaf to the beginning of flowering period, with an amount of 350 HF in varieties such as Princesa (in apple tree) and Gumucio Reyes (in peach tree). Comparing the behavior of the accumulation of HF by decades, it was determined that there was a diminution of even a 25% in the accumulated quantity of HF in the last 40 years. It is recommended to continue with complementary investigations of these mathematical models in other fruit-producing regions, in order to validate y subsequently elaborate climatic charts, specifying climatic regions based on the accumulation of Cold Hours.

**Keywords:** Climatic Regions; Deciduous Tree; Phenology

## Introducción

Las *horas frío* (HF) es uno de los factores climáticos mas importantes en la adaptación y desarrollo de frutales. Tradicionalmente, en nuestro país, este elemento climático ha sido utilizado empleando valores referenciales o de tablas ajenas a nuestras regiones. Sin embargo, para fines frutícolas, estos valores no son suficientes. Por lo tanto, el uso de las HF, además de en la forma tradicional, tiene que realizarse en forma de índices regionales, los cuales serán mejores indicadores de la adaptación y desarrollo de los frutales.

Las exigencias de frío de los diferentes frutales de hoja caduca (en zonas templadas), para salir del estado de receso, varían según la especie y también según la variedad. El requerimiento de frío de una determinada especie se mide en unidades de tiempo en que ocurren las bajas temperaturas estimuladoras, las cuales se han definido como menores a 7°C y superiores a 3°C; temperaturas cercanas a 0°C o inferiores, resultan ineficaces para promover la salida del receso, esto es en parte, porque estarían inhibiendo la acción de las hormonas positivas.

La unidad de tiempo es la *hora frío*, definiéndose ésta como 1 hora en que deben ocurrir ininterrumpidamente las temperaturas adecuadas (2.5°C-7°C) Calderón (1987).

Para calcular las *horas frío* de una determinada localidad, se puede utilizar instrumentos llamados termógrafos, pero su uso resulta tedioso. El método más común es la utilización de datos meteorológicos, incorporados a diversas fórmulas propuestas por distintos investigadores como, Damota (1979), Richardson y Seeley (1974), Crossa-Raynoud (1985), Weinberger (1978), Damario *et al.* (1998), entre otros. Los frutales caducifolios requieren de una acumulación de estas horas para salir del reposo, empleándose esta acumulación como un mecanismo de defensa. Por otro lado, las altas temperaturas durante el invierno ( $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ) pueden reducir o anular los efectos de la acumulación previa de frío. El efecto de estas temperaturas depende de una interacción entre ellas y la duración de su exposición, ya que mientras más alta es la temperatura, menor es el período necesario para obtener reducción en las horas-frío acumuladas (Calderón, 1987, nzáles 1999).

Los frutales de zonas templadas, sin embargo, no son capaces de brotar inmediatamente después del cumplimiento de *horas frío*; se requieren de *horas grado* para provocar la brotación, definiéndose este concepto como *el número de horas a una temperatura determinada multiplicada por el número de grados por encima de una temperatura basal*, luego se deben sumar todas las *horas grado* ocurridas a distintas temperaturas.

Este mecanismo de las *horas grado*, permite a la planta encontrarse aún en estado latente cuando todavía hay riesgo de heladas primaverales después de haberse cumplido las *horas frío* necesarias para la brotación.

El concepto que las plantas tienen un *requerimiento de temperatura* para completar su ciclo, desde yema hinchada hasta la completa madurez, caracteriza a las variedades debido a que denota una clara diferencia entre cultivares de una misma especie para ser variedades tempranas, intermedias y de tardía estación, en cuanto a su madurez.

Existen diversos métodos para estimar y cuantificar las sumas térmicas; el método directo, método residual y el de *días grado* de Monteith (1984) Gilmore y Rogers (1958) (citado por Gil Albert, 1982)

En ciertas zonas agroclimáticas, donde las necesidades de bajas temperaturas de los árboles no son plenamente satisfechas, las plantas presentan síntomas de receso prolongado, el cual se caracteriza por una brotación y floración deficiente e irregular, y finalmente en una disminución en la producción y calidad de la fruta.

Para superar estos problemas, se han adoptado distintas medidas, como la selección de variedades de menores requerimientos de frío y la aplicación de varios productos químicos capaces de producir el quiebre del receso.

Los frutales de las zonas templadas, tienen distintos requerimientos de frío, según sea la región del planeta en que ellos se originaron. Se deduce así que los frutales, desde su origen, se han adaptado genéticamente a las condiciones climáticas de las regiones de que provienen.

Es por esta razón, que al tratar de introducir una especie a una región de diferente latitud de la cual procede, es muy posible que ésta pueda presentar una fenología distinta a la normal; esto sucede porque el clima del hábitat natural de la especie puede ser tan distinto, por ejemplo el trópico, que la planta no es capaz de detectar el acortamiento de los días, esto significa que no desarrolla el sistema fitocromo, y de esta manera no es capaz de realizar la abscisión foliar, ni de entrar en reposo. Así la especie, al no estar adaptada al medio, vegeta en épocas en que la ocurrencia de heladas es muy común, con lo cual la planta y la producción, sufrirán graves consecuencias (Calderón 1987; Lang *et al.*, 1987).

Bolivia es una región privilegiada en cuanto a las condiciones climáticas para la producción de frutales de hoja caduca, lo que ha permitido un desarrollo importante en la producción de frutales en varias regiones del país, como los valles mesotérmicos de Santa Cruz, los valles de Cochabamba, Tarija, Sucre y Potosí y los valles encajonados de La Paz.

En estas regiones se ha introducido cultivares y especies de frutales que se han adecuados a las condiciones micro climáticas, comportándose adecuadamente y han completado sus necesidades de *horas frío* y *días grado*, pero también se han introducido variedades con distintas exigencias en estos factores, las que no han logrado adaptarse a estas condiciones, observándose un mal desarrollo y productividad, lo que indica la falta información climática adecuada para introducir nuevos cultivares.

En base a los antecedentes mencionados, la región productora del Valle Alto de Cochabamba y particularmente la región de San Benito, en la actualidad no cuenta con datos climáticos sobre la acumulación de *horas frío* (HF) y *días grado* (DG), los datos manejados actualmente son referenciales o están basados en el comportamiento de algunos cultivares conocidos, los que satisfacen sus requerimientos para florecer, fructificar y completar la madurez, en cambio variedades de mayor requerimiento en HF y DG no logran florecer abundantemente y consecuentemente no fructifican y por lo tanto, las introducciones no han sido las adecuadas, por el simple hecho técnico de no contar con datos climáticos y peor aún con la metodología indirecta de cuantificación.

Por los antecedentes mencionados se ha planteado y ejecutado el presente trabajo de investigación, cuyo objetivo principal es evaluar y determinar los modelos matemáticos indirectos, que mejor se adecuan a la región en estudio, para cuantificar la cantidad de *horas frío* y *días grado*, que se acumulan en la región productora de durazneros de San Benito.

Con estos resultados evaluados, será posible estimar la acumulación de HF y DG en otras regiones climáticas del departamento y del país.

## Materiales y métodos

La región geográfica conocida como el Valle Alto de Cochabamba y especialmente la zona de San Benito, se caracteriza por tener un clima templado y semiárido, con inviernos secos y veranos húmedos. Se encuentra a una altura de 2700 msnm.

Tiene una temperatura media anual de 15.11°C con una máxima media anual de 24.71°C y una mínima anual de 5.11°C, con presencia de heladas frecuentes en los meses de marzo a julio, y de manera esporádica en los meses de septiembre y octubre. Registra una precipitación media anual de 434.6 mm, que se distribuyen en los meses de diciembre a marzo y una humedad relativa media anual de 55%.

Un factor relevante en el clima es la diferencia térmica entre la noche y el día, así, la temperatura máxima en el día, en invierno, puede llegar hasta a 24°C y bajar en la noche hasta los -4°C; esta característica hace que el invierno se considere como benigno y fácilmente puede contrarrestar la acumulación de *horas frío* por esta característica climática, lo que en el fondo se traduce posiblemente en una menor acumulación de *horas frío*.

El presente trabajo de investigación se ejecutó durante la gestión 2008 en base a las siguientes actividades:

- Recopilación de información secundaria sobre modelos matemáticos de

- cuantificación, utilizados y priorizados para sus regiones por investigadores de otros países. Se seleccionó 10 modelos matemáticos de cuantificación de *horas frío*: Da Mota, Crosa Raynoud y sus tres variantes, Sharpe, Weinberger (citado por Gil-Albert, 1992), Damario *et al.* (1998) con sus dos variantes, Vega 1990 y Novoa *et al.*, 1994. En relación a los modelos matemáticos para el cálculo de *días grado*, se recurrió a los modelos propuestos por Gilmore y Rogers (1985), el método directo y residual y el de Monteith (1984).
- Para comparar los modelos matemáticos propuestos, se recopiló la información meteorológica de 40 años de la Estación Experimental de San Benito, datos como la temperatura promedio mensual, temperatura máxima y mínimas diarias. La información fue proporcionada por el SENAMHI.
  - Con los datos climáticos de 40 años de la región de San Benito, y los modelos matemáticos seleccionados, se procedió a cuantificar las *horas frío* por cada modelo, realizando los ajustes necesarios exigidos por cada autor. Se obtuvo datos por años, posteriormente datos por cada 10 años y se compararon los resultados entre los modelos propuestos. Se desecharon modelos que superaron los valores de 1000 HF. Para fortalecer esta metodología, se realizó de manera paralela, trabajos de investigación sobre fenología y evaluación del efecto de acumulación de *horas frío*, en estacas de frutales como durazneros y manzanos con variedades conocidas y adaptadas a la región del Valle Alto.
  - Los resultados obtenidos por estos trabajos de investigación, permitieron compararlos con los datos obtenidos con el presente trabajo, logrando de esta manera, seleccionar los modelos más adecuados para la región en estudio.
  - Se cuantificó la acumulación de *horas frío* y *días grado* de los últimos 8 años y posteriormente se evaluó su comportamiento a través del tiempo por décadas.

## Resultados y discusión

Con toda la información climática proporcionada por el SENAMHI de la Estación Experimental de San Benito, y estandarizados los datos según las exigencias de cada fórmula matemática, se obtuvo los resultados proporcionados en los cuadros 1, 2 y 3.

En base a la fórmula propuesta por Damota, que considera 4 modelos distintos, que varían entre sí en el periodo de tiempo para su cuantificación, se ha calculado una acumulación de 426 *horas frío*, considerando los meses de junio a agosto, como promedio de 40 años, siendo los demás superiores a las 550 HF; lo mismo ocurre en los valores obtenidos por la fórmula de Sharpe y Weinberger que calculan una acumulación entre 607 y 1365 HF, respectivamente.

Estos últimos datos no concuerdan con el comportamiento de variedades introducidas en años anteriores, de especies frutales más exigentes en HF como la variedad Gala (600 HF), que no ha logrado adaptarse a las condiciones climáticas del Valle Alto.

Si realmente existiera una acumulación superior a los 600 HF en la región de San Benito, la variedad Gala mostraría el rompimiento del receso de las yemas, y se expresaría con una abundante floración y fructificación, lo que no ocurre actualmente.

Realizando similar comparación de fórmulas o modelos matemáticos, propuestos por Crossa Raynoud y sus tres variantes, Damario y el método propuesto por Novoa *et al.*, 1994, se logró obtener los resultados que se detallan en el Cuadro 2.

Con la metodología propuesta por Damario y Novoa *et al.*, 1994 y considerando los meses de cálculo, se obtuvo datos superiores a las 1000 *horas frío*, como dato promedio de 40 años; estas metodologías han sido adaptadas a regiones con inviernos crudos y lluviosos, como las regiones del Mediterráneo, aspecto que no coincide con la región de San Benito, que se caracteriza por tener un invierno benigno y seco, por lo que no se consideran como modelos adecuados para la región.

**Cuadro 1.** Cuantificación de la acumulación de *horas frío*, por los modelos matemáticos propuestos por Damota, Sharpe y Weinberger (promedio de 40 años para la región de San Benito)

Décadas	Damota			Sharpe	Weinberger	
	Abril Agosto	Mayo Septiembre	Mayo Agosto	Junio Agosto	Junio Julio	
1960	531.66	542.21	477.50	378.84	566.33	1208.81
1970	717.01	734.26	637.18	503.30	667.64	1593.15
1980	599.43	630.32	547.04	437.61	627.24	1439.88
1990	590.97	608.08	539.85	434.60	613.30	1387.00
2000	496.73	522.60	471.21	377.45	563.92	1199.66
<b>Promedio</b>	<b>587.16</b>	<b>607.50</b>	<b>534.55</b>	<b>426.36</b>	<b>607.69</b>	<b>1365.70</b>

Fuente: Eduardo Mendoza G.

**Cuadro 2.** Cuantificación de la acumulación de *horas frío*, por los modelos matemáticos propuestos por Crossa Raynoud y sus tres variantes, Damario y Novoa (promedio de 40 años para la región de San Benito)

Décadas	Crossa Raynoud			Damario	Novoa (Chile)		
	C1	C2	C3	HF 1000	Mayo Septiembre	Junio Septiembre	Junio Agosto
1960	381.96	572.94	190.98	712.03	610.20	530.30	494.95
1970	946.17	1419.25	473.08	2154.67	1610.09	1209.27	1103.52
1980	869.08	1303.62	434.54	2279.43	1570.32	1171.13	1063.87
1990	902.16	1353.25	451.08	2063.09	1623.81	1030.61	837.89
2000	896.63	1344.94	448.31	1826.66	1738.59	1342.38	1212.38
<b>Prom.</b>	<b>799.20</b>	<b>1198.80</b>	<b>399.60</b>	<b>1807.17</b>	<b>1430.60</b>	<b>1056.74</b>	<b>942.52</b>

Fuente: Eduardo Mendoza G.

En relación a los datos obtenidos por las 3 variantes propuestas por Crossa Raynoud, los modelos C1 y C2, arrojan datos de acumulación superiores a las 800 HF, sin embargo, si se observa los resultados obtenidos, utilizando la fórmula C3 de Crossa Raynoud, que considera como 12 horas óptimas de acumulación de HF en los meses de mayo a agosto, se ha calculado en promedio un valor de 399.60 HF, que se aproxima a lo obtenido por la fórmula de Damota, considerando solamente los meses de junio a agosto.

Si se acepta que la acumulación de HF en la zona de San Benito, es superior a 800, especies con mayor exigencia, como los manzanos variedades Gala, Winter Banana, Fuji y Sayaca, además de durazneros provenientes de la 5ta. y 7ma. región de Chile, no se tendría problemas en la brotación y floración y la producción sería adecuada y las variedades se adaptarían a estas condiciones climáticas, pero experiencias anteriores referidas a la introducción de estas especies y variedades, han tenido resultados negativos, observándose poco desarrollo, mala brotación, brotación en el ápice de las ramas, que son síntomas clásicos de una falta de acumulación de *horas frío* y por consiguiente un mal proceso de floración, lo que ha provocado el desinterés del cultivo de manzanos y ciruelas por este aspecto.

Por otro lado, si se observa el Cuadro 3 y considerando que en base a los resultados obtenidos y comparados entre sí, se puede asumir que la fórmula propuesta por Damota (junio-agosto) y Crossa Raynoud (mayo-agosto) corre-

gido por 12, son los modelos matemáticos que mejor se adecuan para la cuantificación de horas frío para la región de San Benito.

Si se observa el comportamiento de este factor climático, a lo largo de 40 años, los datos obtenidos por la metodología propuesta por Damota, por década, muestran una clara disminución, siendo la más alta en la década de los años 70 y llegando a disminuir paulatinamente en los años 80 a 437 HF y llegando a un valor promedio de 377.45 HF en la presente década (2000); esto muestra que fenómenos como el de *La Niña* y *El Niño* en la década de los años noventa a dos mil, han afectado casi en un 25 % de disminución en la acumulación de horas frío.

Si se asume también que la fórmula C3 es la adecuada para la cuantificación de HF en la región de San Benito, se podría decir también, que su comportamiento a lo largo de estos 40 años, ha sido afectado, teniendo un valor cercano a los 470 HF en la década de los 70, logrando disminuir la acumulación en la década de los 80 y los 90 con un promedio de 440 HF y manteniéndose este última década con un valor promedio de 450 HF, llegando a disminuir casi en 25 horas frío.

Con respecto al análisis de *días grado* o la acumulación de temperaturas superiores a 10° C, desde el inicio de floración hasta el mes de abril, se determinó la cantidad de *días grado* que acumula la región de San Benito, según los resultados obtenidos en el Cuadro 4.

**Cuadro 3.** Cuantificación de *horas frío* de la región de San Benito por dos modelos matemáticos seleccionados, para su comportamiento a lo largo de cinco décadas

Década	Crossa – Raynoud (C3)	Damota (Junio - Agosto)
1960	190.98	378.84
1970	473.08	503.30
1980	434.54	437.61
1990	451.08	434.60
2000	448.31	377.45
<b>Promedio</b>	<b>451.75 *</b>	<b>438.24 *</b>

\*: El promedio considera las décadas de 1970 a 2000, debido a que para la década de 1960, no se dispone de datos climáticos para los meses de julio y agosto.

**Cuadro 4.** Cuadro resumen de tres modelos matemáticos seleccionados para la cuantificación de *días grado* de la región de San Benito y su comportamiento a lo largo de cinco décadas

Década	<i>Días grado desde septiembre a abril</i>		
	Método directo	Método residual	Monteith
1960	3809.68	1369.68	1379.68
1970	3380.19	1231.30	1226.58
1980	3655.55	1203.55	1355.01
1990	--	1450.00	1494.80
2000	--	1705.00	1708.62
<b>Promedio</b>	<b>3615.14</b>	<b>1391.90</b>	<b>1432.94</b>

Fuente: Eduardo Mendoza G.

El método residual y el de Monteith tienen resultados similares, con un valor entre 1268 y 1432 DG. Esta característica climática permitirá que variedades tempraneras, de mediana estación y tardías, puedan satisfacer sus requerimientos en estos parámetros, hasta completar la madurez del fruto. Por tanto, este dato también es importante cuando se quiera introducir nuevas variedades y especies.

Los modelos matemáticos del método residual y el de Monteith, se adecuan a la región para el cálculo de esta variable climática importante para el desarrollo del cultivo de frutales.

En cuanto a su comportamiento a lo largo de cuatro décadas, se observa que en las últimas dos décadas, hubo un incremento de la acumulación de DG en la región de San Benito, hasta un valor de 1700, que posiblemente ha sido el resultado del efecto climático denominado *La Niña* y *El Niño* y el efecto invernadero, han provocado que la temperatura promedio haya subido en 1 o 2°C en promedio, lo que favorece para la acumulación de *días grado*, pero desfavorece a la acumulación de *horas frío*, que se reducen paulatinamente en los últimos años.

Esto indica que para introducir variedades y especies frutales de hoja caduca,

en esta zona, deben ser de requerimientos más bajos, ya que esto permitirá romper la dormancia de la yema y que la planta satisfaga sus necesidades de *horas frío* para una abundante floración.

## Conclusiones

- Los modelos matemáticos que más se adecuan a las condiciones climáticas de la zona de San Benito, o en el Valle Alto de Cochabamba, para la cuantificación de *horas frío*, son los propuestos por Damota y Crossa Raynoud C3, con el factor de corrección de 12.
- En base a estos modelos matemáticos, se ha determinado que la cantidad de *horas frío* acumulable en San Benito, está alrededor de 350 a 420 *horas frío*.
- En relación al factor climático *días grado*, según las metodologías descritas por el Método Residual y Monteith, se acumulan 1200 a 1400 DG, estos valores permiten un buen desarrollo y adaptación de variedades tempranas, de mediana estación y tardías.
- Los resultados fueron comparados con otros trabajos de fenología y tratamientos de *horas frío*, en estas variedades conocidas de durazneros, manzanos y ciruelos, los que determinan que la cantidad de *horas frío* acumuladas hasta el inicio de floración, está por encima de 350 HF en las variedades Princesa en manzano y Gumucio Reyes en duraznero.
- Se recomienda realizar mayores investigaciones complementarias de

estos modelos matemáticos, en otras regiones productoras de frutales, a fin de validar los modelos y posteriormente elaborar cartas climáticas, especificando regiones climáticas en base a la acumulación de *horas frío*.

- Utilizando estos mismos modelos, el SENAMHI puede proporcionar año tras año la cantidad de acumulación de *horas frío* en cada región productiva, como dato climático importante en la actividad frutícola del país.

## Referencias citadas

- Calderón, E. 1987. Manual del Fruticultor Moderno. Vol IV. Limusa. Ciencia y Técnica S.A. México DF.
- Damario, E., Pascale, A., Bustos, C. 1998. Método simplificado para la estimación agro climática de "Horas Frío" Anuales. Rev. Fac. Agronomía 18 (1-2): 93-97.
- Damario, E., Pascale, A. 1998 Cartas agro climáticas de "horas de frío" de la región serrana de la provincia de Córdoba, Argentina. AGRISCIENTIA, 1999, Vol. XVI: 17-28.
- Gil Albert, F. 1982. Tratado de Arboricultura frutal. Vol II. Ed. Madrid. Mundiprensa. 233 p.
- González P. 1999. Comportamiento de las horas-frío, grados-día, heladas y precipitaciones en los agro ecosistemas de la región del Maule durante los eventos El Niño 1997 y La Niña. Facultad de Ciencias Agrarias, Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. Universidad de Talca. Chile.
- Lang, G., Early, J., Martin, G., Darnell, R. 1987. Endo, para and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. Hort Science, Vol. 22(3): 371-377.

Monteith, J. 1984 Consistency and convenience in the choice of units for agricultural Science. *Experimental Agriculture*. 2:117.125.

Richardson, E., Seeley, S. 1974. A model for estimating the completion of rest for "Redhaven" and "Elberta" peach trees. *Hort Science*, Vol. 9 (4):331-332.

*Trabajo recibido el 28 de febrero de 2013*

*Trabajo aceptado el 27 de marzo de 2014*

**EVENTOS CIENTÍFICO - TECNOLÓGICOS 2014:**



**Primer Encuentro Internacional de la Tuna para forraje**  
 como medida de adaptación al cambio climático en Bolivia

15 y 16 de Mayo de 2014  
 Casa Campeste  
 Cochabamba - Bolivia

**Informaciones:**

INIAF: Telf. 4269353 (Cochabamba)

[www.iniaf.gob.bo](http://www.iniaf.gob.bo)

CIFF-UMSS: Telf. 4316856 (Cochabamba)

PROAGRO-GIZ: Telf. 4256281 (Cochabamba)

**Inversión: 100 Bs.**

**(PLAZAS LIMITADAS)**

**TEMÁTICA:**

- Manejo y tecnología de producción de tuna (*Opuntia* sp.) para forraje.
- La tuna como complemento forrajero en el manejo de monte.
- Importancia económica y ambiental de la tuna.
- Zonas semiáridas y cambio climático.





## Evaluación Visual de Suelos (EVS) *Una Guía de Campo*

José R. Benites Jump

*E mail:* jbenitesjump@gmail.com

*Consultor en manejo de tierras y aguas, agricultura de conservación y fertilidad de suelos.*

*Oficial técnico jubilado de la FAO, Roma.*

*Profesor jubilado de la UNALM y ex-Director Ejecutivo de INCAGRO.*

El **Método de Evaluación Visual de Suelos (EVS)** se basa en la evaluación visual de indicadores clave del "estado" del suelo. Con excepción de la textura del suelo, los indicadores son capaces de cambiar bajo diferentes sistemas de manejo y presiones de uso de tierras, siendo útiles indicadores de alerta temprana de los cambios en las condiciones del suelo y por lo tanto constituyen una herramienta de supervisión eficaz. Para esta calificación visual (CV), a cada indicador le corresponde un valor, de acuerdo a la siguiente escala convencional: 0 = Pobre, 1 = Moderada y 2 = Buena. La asignación de estos valores, dependerá de la observación en la muestra tomada en cada parcela comparada con un patrón definido.

### Haciendo la evaluación

#### **Herramientas para aplicar el método.**

Para la *Evaluación Visual del Suelo (EVS)* se requieren las siguientes herramientas y equipos:

- Una pala plana, cuya hoja debe medir 20 cm para excavar y extraer la superficie del suelo.
- Una cubeta plástica de unos 45\*35\*25 cm, para depositar el suelo con el que se va a efectuar la prueba.
- Un cuadro o caja de madera (de 26\*26\*20 cm) para ajustar en el fondo de la cubeta.
- Una bolsa plástica transparente (de unos 75\*50 cm) para extender el suelo, después de fragmentado.
- Un cuchillo de unos 20 cm de largo.

- Un frasco de agua, para evaluar la clase textural del suelo en el campo.
- Una cinta métrica, para medir la profundidad efectiva.
- Una guía del campo, para hacer las comparaciones fotográficas.
- Tarjetas de calificación, para registrar las calificaciones visuales.

### **Procedimiento**

**¿Cuándo efectuar la prueba?** Cuando el suelo tenga humedad adecuada (límite inferior de plasticidad). Si no se está seguro de la humedad, se debe hacer la "prueba del gusano", tomando un poco de suelo en la palma de la mano y enrollándolo con los dedos, intentando formar un gusano que alcance 50 mm de

largo y 4 mm de diámetro (grueso). Si el suelo cruje o se rompe antes de terminar o si no puede formar el gusano (por ejemplo, cuando el suelo es arenoso) significa que el suelo tiene una humedad suficiente para hacer la prueba. En cambio si logra hacer el gusano, es señal que el suelo está demasiado húmedo para hacer la prueba.

**Duración.** Unos 25 minutos por sitio. Se puede escoger 3 a 4 sitios para una valoración representativa de la calidad del suelo de la parcela o finca.

**Muestra de referencia.** Tomar una muestra del suelo bajo el cerco de la finca o de un área no intervenida comparable, esto para conocer la coloración natural del suelo sin efectos del cultivo intensivo, esta muestra también permite comparar la estructura y porosidad.

**Los sitios.** Se debe seleccionar sitios representativos de toda la parcela o finca, evitando áreas que hayan tenido un mayor tráfico que el resto del campo. La EVS también puede usarse para evaluar los efectos del tráfico continuo sobre la calidad del suelo. Puede seleccionarse, por ejemplo, las huellas dejadas por las ruedas (callejones) y sus resultados compararlos con áreas que han estado sometidas a menor tráfico, por ejemplo, las zonas inmediatas a las plantas. Anote siempre la posición de los sitios evaluados para poder supervisarlos en el futuro.

**La información del sitio.** Se debe completar la información básica del sitio evaluado además de anotar cualquier aspecto especial que se crea pertinente del sitio, anotando también cualquier información que permita ubicar el sitio con facilidad en ocasiones posteriores (aplicar la Tarjeta de Calificación detallada en la página 83 de esta Revista).

**Efectuando la evaluación visual.** Se excava un agujero pequeño, de 20\*20\*30 cm de profundidad, con una pala o azadón, Se observa la uniformidad del suelo incluyendo capas friables o compactas.

**Toma de la muestra.** Si la capa superior del suelo tiene un aspecto uniforme, se debe cavar un cubo de 20 cm con la pala. Esta muestra proporciona suficiente suelo para evaluar la mayoría de los indicadores de su calidad. Se puede tomar una muestra a cualquier profundidad del suelo, pero debe asegurarse que la muestra sea equivalente a 20 cm<sup>3</sup>. Si, por ejemplo, los primeros 10 cm de la superficie del suelo está compactada y se desea evaluar esta condición, se debe extraer dos muestras de 20\*20\*10 cm con una pala. Si a los 10 a 20 cm de profundidad se encuentra una suela o piso de arado y se quiere evaluar esta condición, se debe remover los primeros 10 cm de tierra y excavar dos muestras de 20\*20\*10 cm. Nótese que tomando un cubo de 20 cm, inmediatamente debajo del mantillo, también se logra valiosa información sobre la condición del subsuelo y sus implicaciones para el crecimiento de la planta y prácticas de manejo del cultivo.

## 1. Textura del suelo

**Evaluación:** Tomar una pequeña muestra de suelo (la mitad del tamaño del dedo pulgar) de la capa superior del suelo y una muestra que sea representativa del subsuelo. Humedecer el suelo con agua, amasando y trabajando a fondo en la palma de la mano con el dedo pulgar y el índice para el punto de máxima adherencia. Evaluar la textura del suelo de acuerdo con los criterios del Cuadro 1, tratando de moldear el suelo en una bola.

**Cuadro 1. Criterios de evaluación de la textura del suelo**

Calificador visual	Clase textural	Descripción
2 (Bueno)	Franco limoso	Harinosa, ligeramente granular y pegajosa, sin grietas. Se puede moldear una bola cohesiva que se fisura cuando se aprieta.
1.5 (Moderadamente bueno)	Franco arcilloso	Gránulos moderadamente pegajosos y plásticos. Se puede moldear una bola cohesiva que se deforma sin fisurarse al apretarse.
1 (Moderado)	Franco arenoso	Muy granulosa y harinosa ligeramente arenosa. Se puede moldear una débil bola cohesiva que se fisura cuando se aprieta.
0.5 (Moderadamente pobre)	Arena franca, arcilla	<i>Arena franca:</i> Presenta un grano muy arenoso y áspero. Casi se puede moldear una pelota pero esta se desintegra cuando se aprieta el suelo entre los dedos. <i>Arcilla:</i> Muy liso al tacto, muy uniforme y muy plástica. Se moldea una bola cohesiva que se deforma sin fragmentarse.
0 (Pobre)	Arena	Grano muy arenoso y áspero, no permite moldear una bola.

Hay ocasiones en las que tendrá la asignación de una puntuación de textura que debe ser modificada debido a la naturaleza de su clasificación textural. Por ejemplo, si el suelo tiene un alto contenido de materia orgánica, es decir, es húmico (materia orgánica de 15% a 30%), se deberá aumentar la puntuación de textura en uno (por ejemplo de 1 a 2); si el caso es de un suelo con grava o es pedregoso, se deberá incrementar en 0.5 la calificación de textura. También hay ocasiones en las la asignación de una puntuación de textura deba ser modificada, debido a la preferencia específica de un cultivo para una clase textural particular. Por ejemplo, los espárragos prefiere un suelo de textura franco arenosa, por lo que la puntuación de textura se incrementará en 0.5, es decir de una puntuación de 1 a 1.5 en base a la preferencia de textura específica de la planta.

## 2. Estructura y consistencia del suelo

**Evaluación.** Sobre las calles o espacio entre surcos, remueva un cubo de 20 cm de suelo con la pala. Para hacer la prueba de fragmentación tome una muestra del suelo y déjela caer, un máximo de tres veces, desde una altura de un metro hacia la base firme ubicada en el fondo de la cubeta plástica. Si se separan terrones grandes después de la primera o segunda caída, déjelos caer individualmente de nuevo una vez o dos veces. Si un terrón se estrella y fragmenta en pequeños agregados en la primera o segunda caída, no necesita hacerlo de nuevo. No deje caer cualquier pedazo de suelo más de tres veces. Parta cada terrón a mano a través de cualquier fractura o hendidura.

Luego transfiera la tierra hacia la bolsa plástica grande. Mueva los fragmentos más grandes al extremo superior y los más

finos al extremo inferior. Esto proporciona una medida de la distribución y tamaño de los agregados. Compare la distribución resultante de los agregados con las tres fotografías de la Figura 1.

La evaluación de la estructura del suelo se basa en el tamaño, forma, porosidad y abundancia relativa de los agregados del suelo y de los terrones. La estructura de los suelos pobres se presenta en forma de bloques grandes, densos, angulares (aristas vivas) o sub-angulares, necesiéndose mucha fuerza para fraccionarlos; en cambio aquéllos suelos

con una buena estructura presentan agregados finos, porosos, sub-angulares (aristas amelladas) y semi redondeados (nuciformes).

### 3. Porosidad del suelo

**Evaluación.** Con la pala, corte una rodaja de suelo (aproximadamente 100 mm de ancho \* 150 mm de largo \* 200 mm de profundidad) de un costado del hoyo donde se tomó la muestra, o tome varios terrones para calificar la estructura y consistencia del suelo.



**Figura 1.** Parámetro de comparación para evaluar visualmente la estructura y consistencia del suelo

Se debe buscar los espacios, vacíos, huecos, grietas y fisuras entre y dentro de los agregados y terrones de suelo. Examine también la porosidad de un número de los terrones grandes de la prueba de la estructura del suelo. Esto proporciona información adicional importante en cuanto a la porosidad de los terrones individuales (la porosidad intra-agregado).

La Figura 2 detalla parámetros para calificar visualmente la porosidad del suelo.

#### 4. Color del suelo

**Evaluación.** Compare el color de un manojo de tierra del sitio con el suelo de referencia tomado de debajo de la cerca o lugar protegido más cercano. Utilizando las tres fotografías de la Figura 3 compare

el cambio relativo del color de suelo que ha ocurrido entre ambas muestras. El color puede variar, por lo que tome las fotografías como ilustración de los cambios relativos de color más que de los colores reales que debe esperar.

#### 5. Moteado del suelo

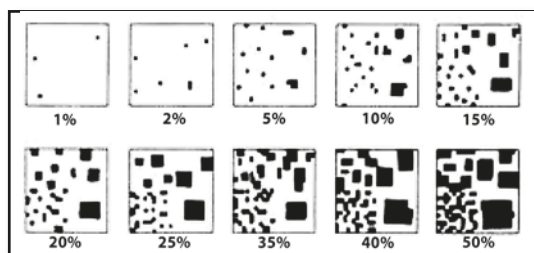
**Evaluación.** El moteado son manchas intercaladas con el color dominante del suelo. Examine el número, tamaño y color de las manchas del suelo tomando una muestra de unos 10 cm de ancho \* 15 cm de largo \* 20 cm de profundidad, de una cara del hoyo de muestreo y compare con las tres fotografías presentadas en la Figura 4. La figura que se detalla por debajo de las fotos ayudará a determinar el porcentaje del suelo ocupado por manchas.



**Figura 2.** Parámetro de comparación para calificar visualmente la porosidad del suelo



**Figura 3.** Parámetro de comparación para calificar visualmente el color del suelo



**Figura 4.** Parámetro de comparación para calificar visualmente el moteado del suelo

## 6. Presencia de lombrices

**Evaluación.** Cuento las lombrices manualmente en la muestra tomada para analizar la estructura del suelo, y compare con las cantidades en el Cuadro 2. Las lombrices varían en tamaño y número dependiendo de las especies y la estación. El conteo de las lombrices debe realizarse en un mismo momento del año de preferencia en invierno. Las cantidades de lombrices del cuadro en esta página se refieren a una muestra de 20 cm<sup>3</sup> de suelo. En general las cantidades de lombrices se informan en metros cúbicos; el resultado de la muestra de 203 cm debe multiplicarse por 25 para dar con la cantidad de lombrices por metro cúbico.

## 7. Profundidad efectiva de las raíces

**Evaluación.** Cavar un hoyo para identificar la profundidad de una capa limitante o restrictiva si la hubiera, y compare la profundidad con los números

del Cuadro 3. A medida que se escarba el hoyo, acentuar la presencia de raíces y canales de raíces viejas, canales de lombrices, grietas y fisuras por donde las raíces pueden extenderse. Toma nota de la presencia de raíces gruesas y si las raíces se ven obligadas a crecer horizontalmente, también conocido como síndrome de ángulo recto, ambos síntomas son el resultado de una alta resistencia del suelo a la penetración de las raíces. Así mismo, observe si hay presencia de compactación en el suelo; si el suelo es gris y fuertemente gleyzado debido al anegamiento prolongado, y si hay la presencia del pie de arado provocado por la labranza. Una transición abrupta de una capa de material fino (pesado) a una gruesa (arena / grava) también limitará el desarrollo de raíces. Una estimación aproximada del potencial de profundidad de las raíces puede hacerse observando los factores anteriores en un corte de carretera cercana o un desagüe abierto.

**Cuadro 2.** Valores referenciales para la evaluación de lombrices en el suelo

Calificación visual (CV)	Cantidad de lombrices (por cada 20 cm <sup>3</sup> de tierra)
2 (Bueno)	> 30 (preferentemente con al menos 3 especies)
1 (Moderado)	15– 30 (preferentemente con al menos 2 especies)
0 (Pobre)	< 15 (predominantemente 1 especie)

**Cuadro 3.** Valores referenciales para la evaluación de la profundidad efectiva de raíces en el suelo

Calificación visual (CV)	Profundidad efectiva (m)
2.0 (Bueno)	>0.8
1.5 (Moderadamente bueno)	0.6 – 0.8
1.0 (Moderado)	0.4 – 0.6
0.5 (Moderadamente pobre)	0.2 – 0.4
0 (Pobre)	<0.2



*La profundidad efectiva de las raíces se extiende hasta la punta del cuchillo; allí el suelo está sumamente compacto y firme sin raíces o canales de raíces viejas, ninguna galería de lombrices de tierra y sin ninguna fisura o grieta por donde las raíces puedan penetrar.*

## 8. Identificando la presencia de pie de arado

**Evaluación.** Examine la tierra para buscar un pie de arado clavando con rapidez un cuchillo en el lado del pozo utilizado para medir la profundidad de las raíces; se debe comenzar cerca de la superficie y luego sistemática y rápidamente bajar hasta el piso del pozo. Observe cuan fácil o difícil le es clavar el cuchillo. Un pie de arado desarrollado es compacto y firme, por lo que será extremadamente resistente a la penetración del cuchillo. Preste particular atención a la tierra cercana a la superficie.

Una vez que ha identificado la posible presencia de un pie de arado por un aumento significativo de la resistencia al cuchillo, mida cuan desarrollado está. Extraiga una muestra grande y analice su estructura, porosidad y moteado, así como la presencia de raíces, acorde a lo explicado en páginas anteriores. Luego compárelo con los criterios y fotografías de la Figura 5.

## 9. Encharcamiento superficial del suelo

**Evaluación.** Evalúe el grado de encharcamiento de la superficie basado en su observación, determinando el tiempo que toma en desaparecer el agua encharcada después de un periodo lluvioso o de una lluvia intensa y compárelas a los calificadores que se indican en el cuadro de esta página. Los cultivos de cereales, leguminosas y oleaginosas son muy vulnerables cuando el suelo está saturado de agua, sobre todo cuando las plantas están en las fases activas de crecimiento de sus raíces y de la parte vegetativa, momento en que la transpiración aumenta notablemente. La tolerancia del sistema de raíces al encharcamiento también depende de varios factores incluidos la época del año y el tipo de cultivo. La tolerancia al encharcado depende mucho de la temperatura del suelo y del aire, del tipo y de la condición del suelo, la fluctuación del manto freático y la severidad de la anaerobiosis (o anoxia), un factor gobernado por el contenido de oxígeno inicial del suelo y del consumo de oxígeno por las raíces.



**Figura 5.** Parámetro de comparación para identificar pie de arado en suelos agrícolas

**Cuadro 4.** Valores referenciales para la evaluación de la profundidad efectiva de raíces en el suelo

Calificación visual (CV)	Encharcamiento superficial en suelo saturado	
	Nro. de días	Descripción
2.0 (Bueno)	1	Ninguna evidencia de charcos de agua en la superficie después de transcurrido un día de la caída de una lluvia intensa sobre un suelo casi saturado o ya saturado.
1.0 (Moderado)	2 - 3	Encharcamiento superficial moderado presente hasta tres días después de transcurrida una lluvia intensa sobre un suelo cerca de la saturación o ya saturado.
0 (Pobre)	> 5	Encharcamiento superficial significativo que se mantiene más de cinco días después de transcurrida una lluvia intensa sobre un suelo cerca de la saturación o ya saturado.

## 10. Costra superficial y cobertura superficial

**Evaluación.** Evalúe el grado de la costra superficial y la cobertura superficial comparándolas con las fotografías de la Figura 6. La costra superficial se evalúa mejor después de un período húmedo, seguido de un período seco, antes de cultivarlo.

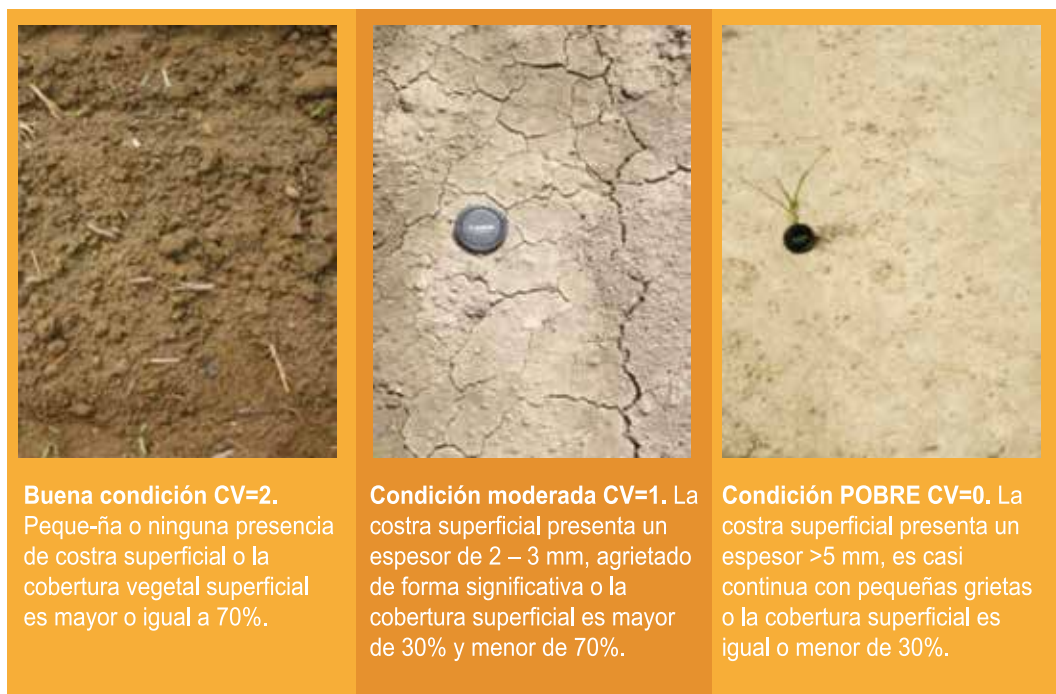
## 11. Erosión del suelo

La erosión del suelo reduce la productividad potencial del mismo a través de la pérdida de nutrientes, reduciendo la profundidad efectiva de las raíces y disminuyendo la capacidad de retención del agua disponible.

La erosión del suelo puede tener también un efecto significativo para los alrededores del lugar, incluyendo la

reducción de la calidad del agua a través del incremento de los sedimentos, contaminando con nutrientes y coliformes los arroyos y ríos.

Cuando se cultivan los suelos susceptibles a la erosión, la degradación es considerable, asociada a la pérdida de materia orgánica y la estructura del suelo, causando la formación de costras superficiales debidas al laboreo y disminuye la infiltración y permeabilidad del agua a través del perfil del suelo, causado por el incremento del escurrimiento superficial. Si la superficie del suelo queda desprotegida en zonas de pendientes, grandes masas de suelos pueden ser arrastradas por la erosión hídrica manifestándose erosión laminar, por surcos y en cárcavas. La restauración de estos daños requiere a menudo el uso de maquinaria pesada, y el costo de las mismas puede ser prohibitivo.



**Figura 6.** Parámetro de comparación para evaluar la costra superficial del suelo

La posibilidad de erosión hídrica en terrenos inclinados es determinada por varios factores que incluyen: el porcentaje de la cobertura vegetal de la superficie del suelo, la cantidad e intensidad de la lluvia, la tasa de infiltración y permeabilidad de agua a través del perfil del suelo, la pendiente y la naturaleza de los estratos del subsuelo y la roca subyacentes.

**Evaluación.** Evalúe del grado de erosión del suelo basado en la evidencia visual actual, junto con el conocimiento de cómo el sitio estaba en el pasado, en base al criterio de las fotografías de la Figura 7.

## 12. Manejo de suelos para cultivos anuales

Es evidente que para un crecimiento óptimo de los cultivos y una producción de cosechas de altos rendimientos, sobre todo durante los períodos de desarrollo crítico de las plantas, se necesita un buen manejo del suelo. Así, las prácticas de manejo deben garantizar buenas condiciones del suelo para el crecimiento de las plantas, en particular la aireación, temperatura, nutrientes y el suministro de agua.

El suelo necesita tener una estructura que permita un sistema radicular eficaz para un máximo aprovechamiento del agua y los nutrientes.



**Buena condición CV=2.** Poca o ninguna erosión hídrica. La profundidad del suelo superficial de las áreas en pendiente son <15 cm que en la parte superior (cresta). La erosión eólica no es una preocupación, sólo algunas partículas de polvo pequeñas emanan del cultivador cuando el día es ventoso. El viento mueve el material pero queda dentro del campo.

**Condición moderada CV=1.** La erosión hídrica es moderada presentándose erosión laminar y en surcos de forma significativa. La profundidad del suelo superficial de las áreas en pendiente son 15-30 cm mayor que en la cresta. La erosión eólica es moderada, siendo significativa solo en días de mucho viento, donde las partículas de polvo que emanan del cultivador pueden ser transportadas.

**Condición POBRE CV=0.** La erosión hídrica constituye un problema mayor, presentándose erosión laminar, en surcos y en cárcavas o zanjones. La superficie del suelo en las áreas de pendiente está a más de 30 cm de profundidad que en la cresta. La erosión eólica es mayor. Pueden ocurrir grandes nubes del polvo al laborar el suelo en días de mucho viento.

**Figura 7.** Parámetro de comparación para evaluar la erosión del suelo

Una buena estructura del suelo también promueve la infiltración y el movimiento del agua a través del perfil, minimizando la formación de charcos, el escurrimiento y la erosión del suelo.

Los sistemas de producción agroecológica (agricultura de conservación, agricultura orgánica, sistemas de no labranza y mínima labranza), permiten la formación y establecimiento de coberturas permanentes con los residuos de cosecha en la superficie y el manejo de cultivos de cobertura; proporcionan sistemas de manejo de suelos que protegen la superficie del suelo de la erosión, conservan el ambiente, suprimen las malezas, reducen los costos de producción y mejoran la calidad del suelo.

La agricultura de conservación ayuda a reducir el escurrimiento del agua y la erosión del suelo: también mejora las características físicas del suelo, mantiene el contenido de materia orgánica, promueve la actividad biológica (sobre todo la cantidad de lombrices de tierra) y aumenta la biodiversidad de los microorganismos. Asimismo, la cobertura reduce el tráfico de la maquinaria, minimizando la compactación que se

produce por las huellas de las ruedas, evitando las microdepresiones y el pie de arado. Mejora el tráfico de la maquinaria e implementos y facilita la siembra a tiempo, siendo menos dependiente esta de las condiciones climáticas extremas del periodo lluvioso o seco.

La agricultura convencional basada en labranzas intensivas tiene un impacto negativo sobre el ambiente, reduciendo el contenido de materia orgánica, generando degradación de la estructura del suelo, aumento de la erosión y alterando de forma adversa, la microflora, reduciendo la microfauna, tanto en número como cantidad de especies.

A largo plazo, los efectos negativos de la agricultura convencional son acumulativos, mientras que los efectos acumulativos a largo plazo de la agricultura de conservación, son considerados positivos.

Hay que evitar la práctica de agricultura orgánica mediante prácticas de agricultura convencional, como aradura intensiva y falta de cobertura en la superficie, porque además de degradación física, también produce degradación química.

**Para una mayor información sobre agricultura de conservación se sugiere la página web:**

<http://www.fao.org/ag/ca/es/index.html>

*Trabajo recibido el 5 de marzo de 2014*

*Trabajo aceptado el 25 de marzo de 2014*

# Evaluación de la regeneración natural de tres especies forestales en bosque de neblina de Independencia

Ruben Crespo<sup>1</sup>; Fimo Alemán<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ciencia Forestales, <sup>2</sup> Docente Investigador FCAyP - UMSS

E mail: fimo\_ad@yahoo.es

**Resumen.** Actualmente, los bosques de neblina de Independencia (Cochabamba), requieren una serie de estudios ecológicos que ayuden a formular tratamientos silvícolas para el uso sostenible de estos recursos. El presente estudio aporta información cuanti y cualitativa y analiza las principales causas (factores biofísicos) que afectan a la regeneración natural de las tres especies forestales principales de la región: *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) O Berg, *Cedrela odorata* L. y *Podocarpus parlatorei* Pilger. Los resultados indican que las especies se regeneran adecuadamente en diferentes condiciones (sitio), pero en todas las especies se observa una mortandad alarmante, durante la fase de latizales ( $\geq 65\%$ ), causada principalmente por la intervención humana, lo que muestra que el bosque sufre de serios problemas en su restablecimiento.

**Palabras clave:** *Blepharocalyx*; *Cedrela*; *Podocarpus*.

**Abstract. Evaluation of the natural regeneration of three forest species at the mist forest of Independencia.** At present the mist forests of Independencia (Cochabamba, Bolivia), require a series of ecological studies to help formulate forestry treatments for the sustainable use of these resources. This study provides quantitative and qualitative information and the main causes (biophysical factors) that affect the natural regeneration of the three main forest species of the region: *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) O Berg, *Cedrela odorata* L. y *Podocarpus parlatorei* Pilger. Results suggest that the three species regenerate adequately in different conditions (site), but it is observed, in all species, an alarming death rate during the latizal phase ( $\geq 65\%$ ), caused principally by human intervention, which shows that the forest has serious problems in its reestablishment.

**Keywords:** *Blepharocalyx*; *Cedrela*; *Podocarpus*.

## Introducción

El interés mundial para la conservación de los bosques montanos, se debe a los valores de biodiversidad, endemismo, potencial biótico y genético, paisajes únicos, peligro de desertificación y erosión de suelos (Dinerstein *et al.*, 1995 e Izko & Burneo, 2003), pero el más importante es el papel que juega en la re-

gulación del régimen hídrico regional (Stadmüller, 1987 y Barrantes, 2001).

A diferencia de otros países, Bolivia aún cuenta con extensas áreas de bosque montano húmedo de gran valor, potencial biológico y ecológico (Kessler & Beck, 2001; Serrano, 2003 y Altamirano & Terán, 2005).

Según Finegan (1988), la regeneración natural de las diferentes especies, constituye un proceso ecológico muy valioso para el restablecimiento del bosque por medios naturales, por lo que es de vital importancia conocer y entender los mecanismos de dicho proceso. En la valoración ecológica se da una gama de problemas que limitan la toma de decisiones a nivel silvicultural, por la complejidad del ecosistema (composición, estructura y funcionamiento).

El objetivo general del trabajo fue evaluar la regeneración natural de *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) O Berg, (era blanca), *Cedrela odorata* L. (cedro) y *Podocarpus parlatoarei* Pilger (pino de monte), en un bosque de neblina en la zona de Independencia.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

Se trabajó en la comunidad de P'ajchanti, del municipio de Independencia (provincia Ayopaya) en Cochabamba. Los bosques montanos húmedos de esta comunidad se encuentran en un rango altitudinal de 2900 a 3300 msnm en una zona pluviestacional, con una precipitación anual aproximada de 800 a 1300 mm y una temperatura promedio de 14°C. El bosque posee un dosel de 15 a 28 m de altura y se encuentra en laderas, colinas convexas con pendientes superiores a 20° (Vargas, 1996).

Este tipo de bosque posee suelos relativamente profundos, con una capa de materia orgánica muy considerable (Figueredo, 2002), la condensación de niebla, los vientos alisios y lloviznas permanentes, se constituyen en el factor ecológico más importante.

### Características generales de las tres especies maderables evaluadas

- *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) O Berg: Especie de la familia Myrtaceae, árbol de 10 a 25 m de altura, de tronco recto de 0.5 a 1.5 m de diámetro con corteza gruesa, pardo oscura y rugosa. Hojas opuestas simples de 3.5 a 6 cm de ancho, glabras con abundantes glándulas, de consistencia delgada, caracterizadas por su abundante punteado translúcido. Flores hermafroditas, blanco amarillentas. Fruto baciforme carnoso, esférico de 6 a 8 mm de diámetro, glabro amarillento cuando maduro (PLAFOR, 1999).
- *Cedrela odorata* L.: especie de la familia Meliaceae. Árbol de 25 a 35 m de altura y de 70 a 90 cm de diámetro; de tamaño mediano a grande, que varía mucho de acuerdo con las condiciones ambientales, los árboles de gran tamaño tienen contrafuertes hasta de tres metros de alto en la base del tronco.
- *Podocarpus parlatoarei* Pilger: Especie de la familia Podocarpaceae. Árbol dioico de hasta 15 m de altura, tronco recto, corteza externa fibrosa levemente agrietada de color café grisáceo. Hojas simples coriáceas, agrupadas alrededor de las ramas, de 3 a 8 cm de largo, 2 a 5 mm de ancho, ápice espinescente. Flores unisexuales, las masculinas en estróbilos espiciformes, las femeninas solitarias axilares sustentadas por un pedúnculo carnoso de 3 mm de largo.

### Procedimiento experimental

Para evaluar la regeneración natural de las especies estudiadas, se establecieron

transectos en banda como se muestra en la Figura 1, en los sitios más representativos del área de estudio, ya que son los más apropiados y específicos para este tipo de muestreo (Matteucci & Colma, 1982 y Bautista *et al.*, 2004). En ellos se estableció 10 parcelas de 100 m<sup>2</sup> para la evaluación de fustales, 5 sub-parcelas de 25 m<sup>2</sup> para la evaluación de latizales y en las mismas se instalaron las parcelas de 1 m<sup>2</sup> para el muestreo de la regeneración natural (brinzales).

El inventario evaluó la altura, calidad, patrón espacial, densidad y abundancia de las plántulas de las especies en cuestión.

También se evaluaron factores biofísicos que inciden sobre la regeneración natural a través del análisis multivariado, denominado análisis de componentes principales, y complementado por el análisis de conglomerados.

Las variables fueron: altitud, exposición solar, topografía, erosión hídrica, grado de perturbación humana y la cobertura del suelo por mantillo, musgos, hierbas y gramíneas.

Finalmente, el estudio se complementó con la caracterización estructural del rodal adulto para determinar la importancia del mismo, sobre la regeneración natural y la importancia ecológica de cada una de las especies dentro la estructura del bosque, a través de un inventario. Para ello se evaluó la abundancia y frecuencia relativa, la dominancia relativa, el *Índice del Valor de Importancia* (IVI) y por último se calculó el *Índice de Similitud* entre los sitios evaluados (transectos) del área de estudio.

## Resultados y discusión

### *Regeneración natural*

Como se observa en la Figura 2, las 3 especies evaluadas presentan una mortandad elevada de los brinzales, ya que solo la tercera parte de las mismas alcanza la fase de latizales. Mérida (1989) y Linke (1991), afirman que esta situación se debe principalmente a la fuerte perturbación humana en algunos sitios del bosque y al pastoreo de ganado ovino y vacuno en el interior del bosque. Sin embargo Fredericksen & Licona (2000), afirman que la mortandad elevada de las plántulas se debe a la competencia con plantas invasoras como bejucos y hierbas, o por la depredación de insectos (Janzen, 1971).

### *Calidad de plántulas*

En cuanto a la calidad de plántulas evaluadas, según la metodología propuesta por Seitz (1980), *B. salicifolius* presentó mayoritariamente individuos con fustes cortos y curvos, debido principalmente a la competencia intra específica, mientras que *C. odorata* y *P. parlatorei* presentaron mayoritariamente individuos rectos por las características fenotípicas que presentan y la falta de competencia inter e intra específica (Serrano, 2003 y Blendinger, 2006).

### *Patrón espacial*

El patrón de distribución espacial fue evaluado mediante la metodología de Clark & Evans (1954) citado por Melo & Vargas (2002); el Índice de Agregación de *B. salicifolius* alcanzó 1.85, *C. odorata* 2.00 y *P. parlatorei* 1.97, mostrando que las tres especies poseen un patrón regular de distribución espacial.

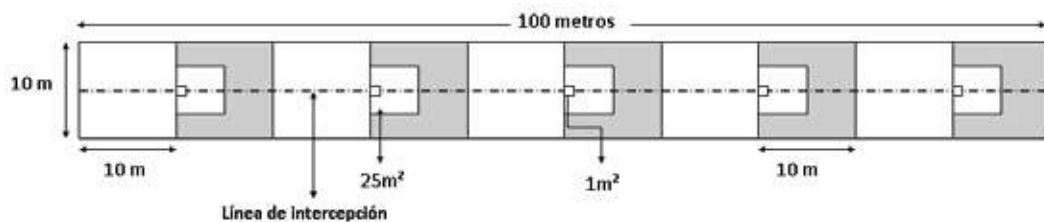


Figura 1. Representación gráfica de la parcela de muestreo.

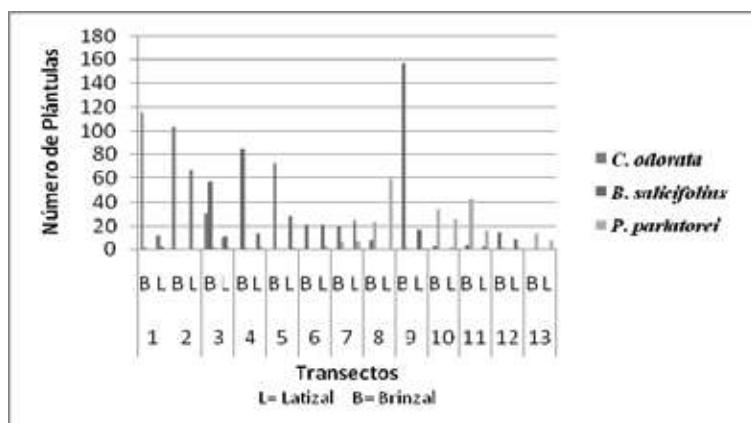


Figura 2. Regeneración natural en diferentes etapas de desarrollo

### Densidad

La regeneración natural de *B. salicifolius* alcanzó una densidad de 880 plántulas/ha, *C. odorata*, 516 plántulas/ha y *P. parlatorei* 374 plántulas/ha; la densidad va cambiando en función a las exigencias ambientales que requieran cada una de ellas como ser altitud, exposición, luminosidad y cobertura del suelo (Whitmore, 1991; Mostacedo & Fredericksen, 2000 y Hogan, & Machado, 2002).

### Abundancia

*B. salicifolius* reportó un valor cercano al 90%, mientras que *C. odorata* llegó a 95% y *P. parlatorei* 82%. La población de las tres especies se encuentran asociadas a poblaciones de *Myrcianthes osteomeloides*, *Styloceras columnare*, *Myrsine pseudocrenata*, *Miconia theae-*

*zans* y *Alnus acuminata* en las quebradas de los ríos (Mérida, 1989; Linke, 1991 y Vargas, 1996).

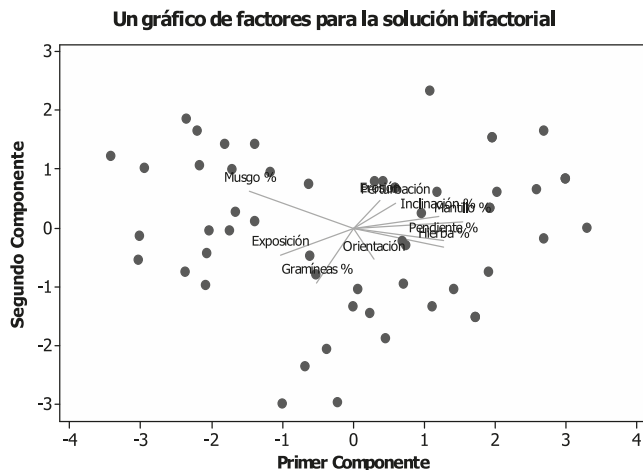
### Análisis de factores biofísicos

Este análisis muestra cuales son las condiciones más apropiadas para la regeneración natural.

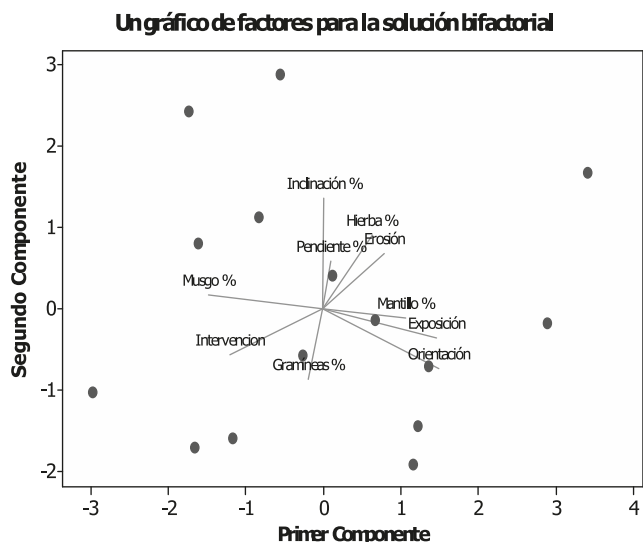
*Análisis de Componentes Principales de B. salicifolius.* La Figura 3 establece la distribución de los factores; la ubicación en la nube de puntos muestra la correlación que existe entre ellos. Proyectando un círculo imaginario sobre el centro de la figura, las variables más alejadas del centro del círculo, son las que presentan mayor correlación. Por lo tanto las variables con mayor incidencia sobre la regeneración natural son el musgo, la pendiente, la orientación, la hierba y el mantillo.

*Análisis de Componentes Principales de C. odorata.* Las variables con mayor incidencia sobre la regeneración natural son el musgo, la hierba, el mantillo, la inclinación y la pendiente como se observa en la Figura 4.

*Análisis de Componentes Principales de P. parlatoresi.* De la misma forma que en la Figura 3, las variables con mayor incidencia sobre la regeneración natural son el musgo, el mantillo, la hierba, la pendiente y la exposición, como se observa en la Figura 5.



**Figura 3.** Distribución de los factores en la nube de puntos para *B. salicifolius*



**Figura 4.** Distribución de los factores en la nube de puntos para *C. odorata*



**Figura 5.** Distribución de los factores en la nube de puntos para *P. parlatoresi*

### *Análisis de conglomerados*

En el Cuadro 1 se muestran los valores medios observados en campo y como afectan los diversos factores en la regeneración natural y en qué condiciones se desarrolla el mayor número de plántulas, asimismo, la regeneración natural agrupada en 3 grupos, de acuerdo las características que presenta.

En el conglomerado 3, se registró 49 plántulas/m<sup>2</sup> de regeneración natural, bajo las condiciones que se describen en el cuadro: pendiente 11%, inclinación 8%, erosión leve, exposición 82°, orientación 97°, grado de perturbación humana media, mantillo 40%, musgo 25 %, hierba 20% y gramíneas 15%.

Como se muestra en el Cuadro 2, en el conglomerado 2, se contabilizó 12 plántulas/m<sup>2</sup> de regeneración natural, bajo

las condiciones que se describen en el cuadro: pendiente 42%, inclinación 28%, erosión 2 = moderada, exposición 52°, orientación 73°, grado de perturbación humana 2 = media, mantillo 47%, musgo 14%, hierba 24% y gramíneas 15%.

En el Cuadro 3, el valor medio más alto de la regeneración natural, se generó bajo las siguientes condiciones (en promedio): pendiente entre 5-13%, inclinación entre 1-10 %, erosión entre 2-3 (moderada y media), exposición (Azimut) entre 72°-71°, Orientación (Azimut) entre 85°-24°, grado de perturbación humana 2 = media, mantillo entre 33-27%, musgo entre 29-46%, hierba entre 19-13% y gramíneas entre 19-14%. El número promedio de plántulas provenientes de la regeneración natural fue de 7 plántulas/m<sup>2</sup>.

**Cuadro 1.** Síntesis del análisis de conglomerados (*B. salicifolius*)

Variables	Regeneración natural	Pendiente (%)	Inclinación (%)	Erosión (%)	Exposición / Orientación (Azimut)	Perturbación humana	Mantillo (%)	Musgo (%)	Hierba (%)	Gramíneas (%)	
	Valores medios										
Conglomerados	1	4	3	5	2	68 / 47	2	30	38	15	17
	2	9	34	21	2	58 / 78	2	43	18	23	16
	3	49	11	8	1	82 / 97	2	40	25	20	15
	<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>63 / 68</b>	<b>2</b>	<b>38</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	<b>16</b>

**Cuadro 2.** Síntesis del análisis de conglomerados (*C. odorata*)

Variables	Regeneración natural	Pendiente (%)	Inclinación (%)	Erosión (%)	Exposición / Orientación (Azimut)	Perturbación humana	Mantillo (%)	Musgo (%)	Hierba (%)	Gramíneas (%)	
	Valores medios										
Conglomerados	1	0	4	3	2	71 / 84	2	34	29	19	18
	2	12	42	28	2	52 / 73	2	47	14	24	15
	3	0	13	10	3	71 / 24	2	27	46	13	14
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>63 / 68</b>	<b>2</b>	<b>38</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	<b>16</b>

**Cuadro 3.** Síntesis del análisis de conglomerados (*P. parlatoresi*)

Variables	Regeneración natural	Pendiente (%)	Inclinación (%)	Erosión (%)	Exposición / Orientación (Azimut)	Perturbación humana	Mantillo (%)	Musgo (%)	Hierba (%)	Gramíneas (%)	
	Valores medios										
Conglomerados	1	7	5	1	2	72 / 85	2	33	29	19	19
	2	0	41	28	2	52 / 73	2	47	15	24	15
	3	7	13	10	3	71 / 24	2	27	46	13	14
	<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>63 / 68</b>	<b>2</b>	<b>38</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	<b>16</b>

### **Caracterización estructural del rodal adulto**

- **Abundancia relativa.** *Podocarpus parlatorei* es la especie arbórea más abundante en este bosque, con una abundancia relativa superior al 28%, luego está *Miconia theaezans* con el 19%, *Blepharocalyx salicifolius* con 8% y *Cedrela odorata* con una cifra mayor al 4%.
- **Frecuencia relativa.** Las especies más frecuentes son: *Podocarpus parlatorei* y *Miconia theaezans* encontrándose en más del 84% del bosque, *Blepharocalyx salicifolius* alcanza una cifra superior al 69% y *Cedrela odorata* alcanza el 23%. *Podocarpus parlatorei* es la única especie que por los diversos usos que le dan los comunarios, tiene cierto grado de protección, por esta razón posee los valores más altos.
- **Dominancia relativa.** *Podocarpus parlatorei* predomina mayoritariamente alcanzando una dominancia relativa del 39%, luego *Miconia theaezans* con 27%, *Blepharocalyx salicifolius* con 9% y *Cedrela odorata* alcanza el 5%. Según Jørgensen & Bascopé (2005), en los bosques de tipo yungueño las especies predominantes son las pioneras, ya que están mejor adaptadas que las especies secundarias a las condiciones de escasa iluminación que se presenta en el interior del bosque.
- **Índice del Valor de Importancia.** *Podocarpus parlatorei* alcanza la mayor cifra con un valor de 152%, luego esta *Miconia theaezans* con

una cifra de 130%, *Blepharocalyx salicifolius* un 86%, *Condalia webbaueri* con un 86% y *Cedrela odorata* alcanza el 32%. Estas cifras muestran la importancia ecológica que poseen las especies en la estructura del bosque.

- **Índice de Similaridad.** Mediante la metodología propuesta por Sorensen citado por Melo & Vargas (2002), se comprobó que la similitud entre los diferentes sitios muestreados en promedio alcanza el 59%, dando a conocer una marcada diferencia entre sitios, causada probablemente por variables ambientales.

### **Conclusiones**

- La regeneración natural de *Blepharocalyx salicifolius* alcanzó una densidad de 3480 plántulas/ha en condiciones de baja erosión, perturbación humana moderada a baja, pendientes medias y cobertura media del suelo. Mientras que *Cedrela odorata* reporta 2540 plántulas/ha en los sitios más apropiados para su propagación. Las condiciones favorables están en función a la buena exposición solar, buen drenaje, falta de competencia, suelo bien conservado (baja erosión), cobertura del suelo media, pendiente moderada y al bajo grado de perturbación. En contraste, *Podocarpus parlatorei*, con una densidad de 374 plántulas/ha, en condiciones de erodabilidad baja a media, pendientes moderadas, grado de perturbación y grado de cobertura medio.
- Los factores biofísicos que mayor incidencia tienen sobre la regenera-

ción natural, para las tres especies, son la cobertura del suelo por musgos, hierbas y mantillo principalmente, otros factores son la pendiente, la inclinación del suelo, la exposición solar y la altitud.

- La especie más significativa en términos ecológicos es *P. parlatoarei*, ya que el IVI alcanzó 152%, lo que la hace muy determinante en la estructura, composición y dinámica del bosque. *B. salicifolius* alcanzó 86%, que la convierte en una de las especies más importantes en cuanto a abundancia relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa. *C. odorata* con 32%, la convierten en una especie amenazada por el valor tan bajo encontrado.

## Referencias citadas

- Altamirano, A. & Terán, J. 2005. Bosques Nativos Andinos de Bolivia. Recopilación, descripción y análisis documental. PROBONA. La Paz, Bolivia. 56 p.
- Bautista, F.; González, D.; Palacio J. & Delgado Ma. Del C. 2004. Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales. Univ. Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Yucatán, Consejo Nacional de Ciencia & El Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 509 p.
- Blendinger, P. 2006. El Pino del Cerro (*Podocarpus parlatoarei* Pilger) como Modelo de Estudio para la Conservación, Ecología y Biogeografía de los Bosques Montanos Nublados de Yungas. Documento Inédito. LIEY, Universidad Nacional de Tucumán. Ref.: blendinger@birdecology.com.ar
- Figueredo, H. 2002. Zonificación Agroecológica como Base Técnica del Plan De Uso del Suelo del Municipio de Villa de la Independencia. FCAP-UMSS. Cochabamba, Bolivia.
- Izko, X. & Burneo, D. 2003. Herramientas para la Valoración y Manejo Forestal Sostenible de los Bosques Sudamericanos. UICN-Sur. 155 p.
- Jørgensen, P. & Bascopé, S. 2005. Caracterización de un Bosque Montano Húmedo de los Yungas, La Paz. Ecología en Bolivia 40(3): 365-379.
- Kessler, M. & Beck, S. 2001. Bolivia. En: Kappelle, M. & A.D. Brown (Eds.). Bosques Nublados del Neotropico. INBio, FUA, UICN, Santo Domingo de Heredia. pp. 581– 622.
- Linke, J. 1991. Estudio de la Vegetación y del Suelo en un Bosque de Nubes de Montaña en Bolivia. Tesis de Grado en la Universidad de Göttingen, Alemania.
- Mamani, E. 2005. Evaluación de Cuatro Especies Vegetales de Barrera Viva para Conservación de Suelos en Tres Comunidades del Municipio de Independencia. FCA y P - UMSS. Cochabamba, Bolivia.
- Matteucci, S. & Colma, A. 1982. Metodología para el Estudio de la Vegetación. OEA. Washington, DC. USA.
- Mostacedo, B. & Fredericksen, T. 2000. Estado de Regeneración de Especies Forestales Importantes en Bolivia. Evaluación y Recomendaciones. BOLFOR. Documento Técnico N° 88. Santa Cruz, Bolivia.
- Serrano, P. 2003. Estructura y composición de bosques montanos subtropicales y sus implicaciones para la conservación y el manejo de los recursos forestales en la Serranía del Iñao, Bolivia. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Trabajo recibido el 22 de marzo de 2014  
Trabajo aceptado el 28 de marzo de 2014

## Evaluación de modelos predictivos para la identificación de sitios de colecta de especies silvestres de tomate en Bolivia

Fernando Patiño; Bruno Condori; Mario Crespo; Ximena Cadima

*Proyecto SoSil/FONTAGRO - Fundación PROINPA*

*E mail: f.patino@proinpa.org*

**Resumen.** Para la optimización de recursos en la adquisición de germoplasma mediante colecta, entre los años 2009 a 2010, el Proyecto SoSil/FONTAGRO-PROINPA, recopiló información nacional e internacional sobre especies silvestres de tomate en Sudamérica con énfasis en germoplasma de origen boliviano. Los datos pasaporte de estos materiales, una vez depurados, junto con historiales climáticos, fueron utilizados para estimar áreas potenciales de distribución de tomate silvestre en Bolivia, mediante los modelos de predicción *BioClim* y *MaxEnt*. Durante las exploraciones en campo, planificadas en base a las áreas estimadas por ambos modelos, se recolectó germoplasma de las especies *S. chmielewskii* y *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* en sitios considerados como inapropiados para la presencia de estas especies. El análisis a través del test exacto de Fisher, permite concluir que ambos modelos no tienen aún la precisión necesaria para la predicción de áreas de distribución de especies silvestres de tomate y sugieren la necesidad de realizar exploraciones adicionales para incrementar el número de puntos de colecta. Asimismo sugiere la necesidad de incorporar en el futuro, otros modelos de predicción junto con información complementaria (suelo, vegetación), que pudieran condicionar la distribución geográfica de estas especies.

**Palabras clave:** Germoplasma Silvestre; Área de Distribución; *BioClim*; *MaxEnt*

**Abstract. Evaluation of predictive models for the identification of sites of collection of wild species of tomato in Bolivia.** To optimize resources in acquisition of germplasm through collection, between 2009 and 2010, the SoSil/FONTAGRO-PROINPA Project, gathered information from national and international sources of wild species of tomato in South America, with emphasis on Bolivian germplasm. The passport data of these materials, once refined, along with climate records, were used to estimate potential distribution areas of these tomato species in Bolivia, through predictive models *MaxEnt* and *Bioclim*. During the field explorations planned based on the estimated areas by both models, germplasm of the species *S. chmielewskii* and *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* were collected in sites considered inappropriate for the presence of these species. The analysis using *Fisher's Exact Test* allows concluding that both models are inaccurate for the prediction of distribution areas of wild tomato species, and suggest the need for further investigations, to increase the number of collection points. It also suggests the need to incorporate other predictive models with additional information (soil, vegetation) that could condition the geographic distribution of these species.

**Keywords:** Wild Germplasm; Distribution Area; *BioClim*; *MaxEnt*

## Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial (Peralta y Spooner, 2007). En Bolivia se cultivan aproximadamente entre 9000 y 10000 ha/año, de tomate, alcanzando un rendimiento promedio de 8.9 t/ha (MACA, 2005). Pese a esta importancia, en Bolivia, la diversidad genética de este cultivo, no se encuentra aún inventariada. Entre los años 2010 y 2011, la UMSS, junto con el INIAF, han logrado estructurar una colección de germoplasma de tomate nativo (en su mayoría de la especie *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*) junto con material silvestre adquirido mediante donación del TGRC de Estados Unidos (Gonzales *et al.*, 2011).

PROINPA, junto con instituciones de investigación de Chile y Perú, y el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), trabaja en un proyecto regional para el desarrollo y valoración de los recursos genéticos del cultivo de tomate, para su utilización en mejoramiento genético a estrés biótico y abiótico. Dicho proyecto contempla la generación de colecciones de germoplasma de especies silvestres y cultivadas de tomate en cada país, a través de adquisición, donación, repatriación y colecta.

La adquisición por colecta requiere de una planificación previa para optimizar tiempo y recursos (Jaramillo y Baena, 2000), para ello los *Sistemas de Información Geográfica* (SIG) y los *Modelos de Distribución de Especies*, constituyen herramientas importantes en la identificación de hábitats apropiados para la especie objetivo (Guarino *et al.*, 2002).

Con estos antecedentes, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad predictiva de los modelos *BioClim* y *MaxEnt*, para la identificación de áreas potenciales de colecta de germoplasma de especies silvestres de tomate en Bolivia.

## Materiales y métodos

*Recopilación de datos de colecta.* Se recopilaron datos de especies silvestres y asilvestradas de tomate reportadas en Sudamérica y especialmente de Bolivia, de herbarios, centros nacionales e internacionales de investigación y conservación de recursos fitogenéticos, y de publicaciones disponibles.

*Estructuración de base de datos.* Los datos recopilados fueron ordenados en planillas electrónicas, estructurándose una base de datos con campos de información sobre el origen de cada registro, entre los que se destacan los referidos a latitud, longitud y altitud.

*Análisis de calidad de la base de datos.* Con el fin de lograr una sólida estimación de áreas de distribución de especies en la etapa de modelización, se tomó un mínimo de 10 registros por especie (Scheldeman *et al.*, 2006). La calidad de la información contenida en la base de datos, fue analizada siguiendo la metodología de la CONABIO (Muñoz *et al.*, 2004; Patiño *et al.*, 2008).

*Modelización de la distribución geográfica de las especies silvestres y asilvestradas de tomate en Sudamérica.* La estimación de áreas de condiciones ambientales apropiadas para la presencia de la especie (modelización), se realizó a través de los modelos *BioClim* y *MaxEnt*, utilizando la base de datos estructurada, junto con historiales cli-

máticos correspondientes a 19 variables ambientales, disponibles en Worldclim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) con una resolución de 30 arco segundos (Hijmans *et al.*, 2005).

*Mapeo y planificación de rutas de colecta.* Se elaboraron mapas impresos en base a las capas generadas en la etapa de modelación, a través del programa ArcGis v.9.0 ®. Se incluyeron, además, otras capas complementarias con información político-administrativa, infraestructura vial, hidrografía y centros poblados, proveniente del Centro Digital de Recursos Naturales de Bolivia (<http://essm.tamu.edu/bolivia/>). En base a los mapas elaborados, se identificó aleatoriamente, diez puntos accesibles en áreas donde los modelos predijeron una alta y nula probabilidad de encontrar la especie objetivo (Jarvis *et al.*, 2005). Estos puntos fueron verificados a través de viajes a campo; se utilizó un sistema de posicionamiento global (GPS), para alcanzar las coordenadas exactas de cada uno de ellos. Una vez en el sitio, se hicieron exploraciones para la localización de plantas de especies silvestres de tomate, la colecta respectiva de germoplasma (frutos) y especímenes para herbario, toma de datos de la población, vegetación circundante y características del hábitat.

*Evaluación de la capacidad predictiva de los modelos BioClim y MaxEnt.* Se realizó determinando el grado de asociación entre los valores predichos por los modelos y los observados en campo. Para ello se utilizó el test exacto de Fisher (Pértega Díaz y Pita Fernández, 2004). El análisis se realizó con el programa MINITAB v. 15. La tabla de contingencia general para las variables de análisis de este estudio fue una de tipo 2\*2 (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Tabla de contingencia general para la comparación de dos variables dicotómicas

Distribución observada	Distribución predicha		
	Presente	Ausente	Total
Presente	a	b	a+b
Ausente	c	d	c+d
Total	a+c	b+d	n

Fuente: Adaptado de Pértega Díaz y Pita Fernández, 2004.

## Resultados y discusión

*Recopilación de información y estructuración de datos de colecta.* Se recopiló datos sobre especies silvestres y asilvestradas de tomate a nivel de Sudamérica y Bolivia, del TGRC California, EEUU (<http://tgrc.ucdavis.edu/>), el Jardín Botánico de Nueva York ([www.nybg.org](http://www.nybg.org)), la monografía de Peralta *et al.* (2008), y finalmente, los informes de viajes de colecta de solanáceas tuberíferas silvestres, realizados por la Fundación PROINPA (2007, 2008).

Inicialmente se estructuró una base de datos compuesta por 1041 registros, correspondientes a 14 especies silvestres y la especie asilvestrada *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*. El análisis de calidad de esta base de datos, identificó un total de 155 registros inconsistentes, con datos de coordenadas de localidades imposibles o improbables, de los cuales se eliminaron 113, debido a que sus datos de coordenadas y altitud no guardaban relación alguna con la información descriptiva del sitio de colecta. Se eliminaron además 148 registros con datos de coordenadas similares (duplicados) para evitar sesgos en los resultados de la modelación. La base de datos final quedó conformada por 780 registros con datos de coordenadas comple-

tos. El análisis de envoltura (Envelope) del modelo *BioClim*, no identificó valores extremos o puntos atípicos dentro del conjunto de datos finales.

**Análisis espacial y modelización de la distribución geográfica de las especies silvestres y asilvestradas de tomate en Sudamérica.** Los resultados de la modelación con *BioClim* y *MaxEnt*, fueron variables para cada especie. Las áreas potenciales estimadas por ambos modelos en algunos casos se concentran solamente en la Cordillera de los Andes de Colombia, Ecuador, Perú y Chile, mientras que en otras se extienden hasta territorio boliviano.

El modelo *BioClim* estima áreas potenciales en Bolivia para ocho especies silvestres: *S. arcanum*, *S. chilense*, *S. chmielewskii*, *S. corneliomulleri*, *S. habrochaites*, *S. ochranthum*, *S. peruvianum* y *S. pimpinellifolium*, junto con la especie asilvestrada *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*. Para las especies *S. pennellii* y *S. sitiens*, el modelo no identifica áreas potenciales dentro de Bolivia.

En términos de probabilidad de presencia de la especie, sólo *S. chmielewskii*, *S. corneliomulleri*, *S. habrochaites*, *S. ochranthum*, *S. peruvianum*, *S. pimpinellifolium* y *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, presentan probabilidades de presencia altas a excelentes dentro de Bolivia (Cuadro 2), mientras que el resto de las especies (*S. arcanum* y *S. chilense*) presentan solo probabilidades bajas a medias. El modelo *MaxEnt*, por otro lado, estima áreas potenciales dentro de nuestro país para siete especies silvestres: *S. arcanum*, *S. chmielewskii*, *S. corneliomulleri*, *S. neorickii*, *S. ochranthum*, *S. peruvianum* y *S. pennellii*, y la asilvestrada *S. lycopersicum* var. *ce-*

*rasiforme*. Según este modelo, en Bolivia no existen las condiciones ambientales adecuadas para la ocurrencia de las especies *S. chilense*, *S. habrochaites*, *S. huaylasense*, *S. juglandifolium*, *S. lycopersicoides*, *S. pimpinellifolium* y *S. sitiens*.

De acuerdo a las categorías de probabilidad de presencia, las especies *S. arcanum*, *S. chmielewskii*, *S. pennellii* y *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, tienen probabilidades altas de presencia en Bolivia, ya que un 45, 16, 78 y 10% de su área estimada, respectivamente, se encuentra en esta categoría de probabilidad (Cuadro 2).

Las superficies estimadas por ambos modelos, confirman que la distribución potencial de una especie, depende fundamentalmente del número de registros o puntos utilizados en el proceso de modelación (Scheldeman y van Zonneveld, 2010), y de que estos correspondan al intervalo de distribución completo de la misma, con el fin de incluir los valores máximo y mínimo de sus requerimientos ecológicos (Anderson *et al.*, 2003).

Las siguientes especies de tomate fueron priorizadas para verificación en campo y la colecta respectiva de semillas: *S. arcanum*, *S. chmielewskii*, *S. corneliomulleri*, *S. habrochaites*, *S. ochranthum*, *S. peruvianum*, *S. pennellii*, *S. pimpinellifolium* y *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*.

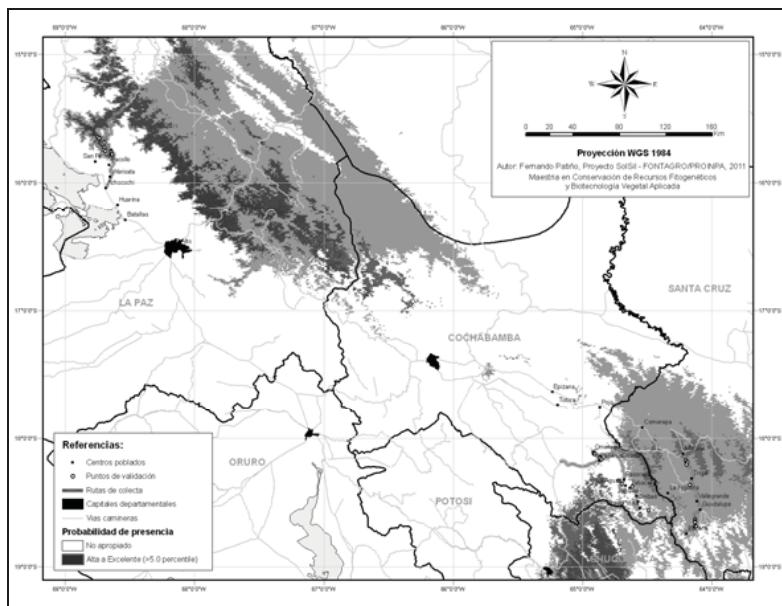
**Mapeo de áreas de alta probabilidad de presencia e identificación de rutas de colecta de especies priorizadas de tomate.** Con la sobreposición de las grillas generadas y editadas por ambos modelos, para las especies priorizadas para colecta, se obtuvo un mapa inte-

grado (complementado con información de límites administrativos, centros poblados y rutas camineras), a partir del cual se identificaron tres rutas de colecta, para la verificación en campo de las áreas estimadas por los modelos *BioClim* (Mapa 1) y *MaxEnt* (Mapa 2).

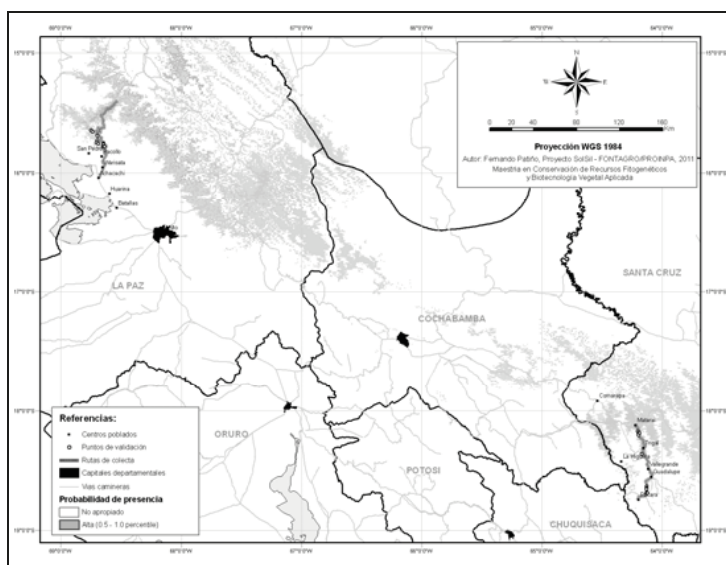
La primera ruta (valles mesotérmicos de Santa Cruz), fue recorrida entre el 23 y 27 de febrero de 2010, entre Mataral, Vallegrande, Pucara y La Higuera, en un rango altitudinal comprendido entre los 1600 y 2900 msnm. En dicho recorrido se verificaron los 10 puntos de verificación seleccionados, sin resultados positivos. La segunda ruta (valles secos del Cono Sur de Cochabamba) se realizó entre el 10 y 12 de marzo de 2010, sin resultados positivos en 7 de los 10 puntos de verificación. Fuera de estos, se colectaron tres muestras (CP 003, CP 004 y CP 005) de la especie asilvestrada *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* (Cuadro 2). Este recorrido com-

prendió a las localidades de Omereque, Peña Colorada, Pasorapa, Tabacal, Zapallar, Ceivas, Chillijchi, Buena Vista y La Aguada.

Finalmente, la tercera ruta fue recorrida entre el 15 y 19 de marzo de 2010, lográndose acceder a la totalidad de los puntos de verificación seleccionados. En uno de ellos (situado en la ruta Sorata-Coajani) se localizó una población (CPL 001) de la especie silvestre *S. chmielewskii*. Otras cinco poblaciones (CPL 002, CPL 004, CPL 005, CPL 006 y CPL 007) de esta especie fueron localizadas en la ruta de Sorata hacia la localidad de Bajo Sutilaya fuera ya de los puntos de verificación seleccionados (Cuadro 2). En esta misma ruta también se colectó una muestra de *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* (CPL 003) cerca de la localidad de Coajani. Esta ruta comprendió a las localidades de Sorata, Coajani, San Pedro, Cabracancha, Bajo Sutilaya y Milluhuaya.



**Mapa 1.** Rutas de colecta identificadas para la validación de las áreas de distribución potencial de especies de tomate silvestre estimadas por el modelo *BioClim* (Fuente: Elaboración propia)



**Mapa 2.** Rutas de colecta identificadas para la validación de las áreas de distribución potencial de especies de tomate silvestre estimadas por el modelo *MaxEnt* (Fuente: Elaboración propia)

**Cuadro 2.** Superficies, según categorías de probabilidad, estimadas por los modelos *BioClim* y *MaxEnt* para especies silvestres y asilvestradas de tomate en Bolivia

Nro.	Especie	Superficie estimada BioClim (km <sup>2</sup> )			Superficie estimada MaxEnt (km <sup>2</sup> )		
		Baja - Media (0-5.0 percentil)	Alta - Excelente (>5.0 percentil)	Total	Baja (0-0.5 percentil)	Alta (0.6-1.0 percentil)	Total
1	<i>S. arcanum</i>	9240	0	9240	437	363	800
2	<i>S. chilense</i>	7697	0	7697	0	0	0
3	<i>S. chmielewskii</i>	2249	60	2309	10490	1933	12423
4	<i>S. corneliomulleri</i>	22035	3470	25505	222	0	222
5	<i>S. habrochaites</i>	187142	1554	188696	0	0	0
6	<i>S. huaylasense</i>	0	0	0	0	0	0
7	<i>S. juglandifolium</i>	0	0	0	0	0	0
8	<i>S. lycopersicoides</i>	0	0	0	0	0	0
9	<i>S. neorickii</i>	0	0	0	867	0	867
10	<i>S. ochranthum</i>	140	10746	10886	11270	0	11270
11	<i>S. peruvianum</i>	60219	17993	78212	1637	0	1637
12	<i>S. pimpinellifolium</i>	462462	14003	476465	0	0	0
13	<i>S. pennellii</i>	0	0	0	38	132	170
14	<i>S. sitiens</i>	0	0	0	0	0	0
15	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	206630	79604	286234	90584	10557	101141

Fuente: Elaboración propia.

**Evaluación de la capacidad predictiva de los modelos BioClim y MaxEnt.** Se estimó en base a los resultados de las colectas realizadas para las especies *S. chmielewskii* y *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, durante el trabajo de campo en las rutas de colecta II y III.

En la zona de los valles secos del Cono Sur de Cochabamba, solo el modelo *BioClim* estimó áreas con probabilidad de presencia de la especie *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, pese a que anteriormente en esta zona no existían reportes de registros de esta especie. En la verificación en campo, a lo largo de la Ruta II, no se localizaron poblaciones de esta especie en los puntos con probabilidad alta o nula. El test exacto de Fisher (con una probabilidad del 95%), arrojó un valor  $p=0.2$ , lo cual confirma

la inexistencia de una relación entre los valores predichos por *BioClim* y los observados en campo.

Por otro lado, en la zona de los valles húmedos de los Yungas de La Paz, ambos modelos estimaron áreas con probabilidad de presencia para la especie silvestre *S. chmielewskii*, sin embargo, en los puntos verificados, se logró colectar germoplasma solo en aquellos sitios considerados como inapropiados por ambos modelos para la presencia de la especie. Los valores de “p” obtenidos a través de la prueba exacta de Fisher (1 y 0.17, respectivamente) aplicado a las matrices de ambos modelos, al igual que en la ruta II, demostraron la ausencia de relación entre los valores predichos y los verificados en campo.

**Cuadro 2.** Material silvestre y asilvestrado colectado en las zonas de los valles secos del Cono Sur de Cochabamba y los valles húmedos de los Yungas de La Paz, en marzo de 2010

Nº	Especie	Código colecta	Departamento	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Fecha colecta
1	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	CP 003	Cochabamba	-18,321111	-64,676944	2037	12/03/10
2	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	CP 004	Cochabamba	-18,320556	-64,676111	2031	12/03/10
3	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	CP 005	Cochabamba	-18,320556	-64,676111	2031	12/03/10
4	<i>S. chmielewskii</i>	CPL 001	La Paz	-15,755556	-68,687222	2458	16/03/10
5	<i>S. chmielewskii</i>	CPL 002	La Paz	-15,731667	-68,693333	2550	16/03/10
6	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	CPL 003	La Paz	-15,684444	-68,695833	2480	16/03/10
7	<i>S. chmielewskii</i>	CPL 004	La Paz	-15,743056	-68,701667	2114	17/03/10
8	<i>S. chmielewskii</i>	CPL 005	La Paz	-15,743056	-68,701667	2114	17/03/10
9	<i>S. chmielewskii</i>	CPL 006	La Paz	-15,657778	-68,733333	2136	17/03/10
10	<i>S. chmielewskii</i>	CPL 007	La Paz	-15,647500	-68,742222	1937	17/03/10

Fuente: Elaboración propia

CP = Crespo M., Patiño, F. CPL = Crespo, M., Patiño, F., Lujan, R.

Los resultados obtenidos en la validación en campo de las predicciones de ambos modelos y la evaluación de su capacidad predictiva para el caso de las especies *S. chmielewskii* y *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, demuestran que las áreas estimadas por *BioClim* y *MaxEnt*, no guardan relación con las observaciones realizadas en campo. Esto se debe principalmente al número reducido de registros de colectas realizadas en Bolivia, utilizados en la etapa de modelación, y la representatividad de éstos del rango total de distribución de la especie (Anderson *et al.*, 2003).

A ello, se debe añadir, el hecho que ambos modelos trabajaron en base a información climática solamente, sin tomar en cuenta otro tipo de información, tal como uso de suelos y tipo de vegetación, los cuales son determinantes en la distribución geográfica de una especie cualquiera (Lobo, 2000).

Modelaciones más precisas requieren de un mayor número de puntos de colecta y de información detallada acerca de la distribución y hábitat de estas especies. Peterson (2001) evaluó la capacidad de predicción de *BioClim* y *GARP* (*Genetic Algorithm for Rule-set Prediction*) para modelar distribuciones de 34 especies de aves en Estados Unidos, estableciendo un mínimo de 100 puntos de colecta para la obtención de predicciones confiables, especialmente con el segundo modelo. Un trabajo similar es el de Phillips *et al.* (2006), quienes evaluaron *MaxEnt* y *GARP* en distribuciones de un mamífero (*Bradypus variegatus*) y un roedor (*Microryzomys minutus*) con una base de datos de 128 y 88 registros, respectivamente.

## Conclusiones

- Los resultados logrados en la etapa de validación en campo, son insuficientes para la evaluar la eficiencia de los modelos *BioClim* y *MaxEnt*, en la identificación de áreas de presencia/ausencia de especies silvestres y/o asilvestradas de tomate en nuestro país, debido a que las rutas recorridas representan un mínimo porcentaje de las superficies totales estimadas por ambos modelos.
- De acuerdo a los resultados del presente estudio, los modelos *BioClim* y *MaxEnt*, aún no tienen la precisión requerida para la identificación de áreas potenciales de colecta de germoplasma de especies silvestres de tomate en Bolivia, bajo las condiciones en que se efectuó el estudio. El reducido número de registros disponibles para la etapa de modelación, así como el desconocimiento del hábitat de las especies silvestres de tomate, influyeron en la determinación de áreas con características óptimas para la presencia de la especie por parte de ambos modelos, así como en la etapa de colecta de material en campo.

## Referencias citadas

- Anderson, R., Lew, D., Peterson, A. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological modelling*. 162(2003): 211-232.
- Fundación PROINPA. 2007. Informe de colecta de especies silvestres de papa. Febrero 2007. Proyecto Conservación de Parientes Silvestres. UNEP-GEF. 17 p.
- Fundación PROINPA. 2008. Informe de colecta de especies silvestres de papa -

- Marzo 2008. Proyecto Conservación de Parientes Silvestres. UNEP-GEF. 22 p.
- Gonzales, J., Herbas, J., Mercado, H., Choque, E., Dávila, J., Quiruchi, M., Rojas, S., Santos, S., Canllavi, Z. 2011. Catálogo de poblaciones de tomate nativo e introducido en Bolivia. UMSS - ASDI - DICyT - FCAPFyV - INIAF. Cochabamba, Bolivia. 120 p.
- Guarino, L., Jarvis, A., Hijmans, R., Maxted, N. 2002. Geographic Information Systems (GIS) and the Conservation and Use of Plant Genetic Resources. **In:** Managing Plant Genetic Diversity. IPGRI. pp. 387-404.
- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25:1965–1978.
- Jaramillo, S., Baena, M. 2000. Material de apoyo a la capacitación en conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp. 23-34.
- Jarvis, A., Williams, K., Williams, D., Guarino, L., Caballero, P., Mottram, G. 2005. Use of GIS for optimizing a collecting mission for a rare wild pepper (*Capsicum flexuosum* Sendtn.) in Paraguay. *Genetic Resources and Crop Evolution* (2005) 52: 671–682.
- Lobo, M. 2000. ¿Es posible predecir la distribución geográfica de las especies basándonos en las variables ambientales?. **In:** Monografías Tercer Milenio. F. Martín-Piera, J. Morrone y A. Melic (eds.). Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza, España. pp. 55-68.
- MACA (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios). 2005. Estadísticas agrícolas - Campañas agrícolas 2003-2004 y 2004-2005. Documento de trabajo. La Paz, Bolivia. 42 p.
- Muñoz, E., Hernández, J., Colín, J. 2004. Georeferenciación de las localidades de colectas biológicas. *Biodiversitas*. Nro. 54:8–15.
- Patiño, F., Condori, B., Segales, L., Mamani, A., Cadima, X. 2008. Atlas de especies silvestres y cultivadas de papa de Bolivia. Proyecto UNEP/GEF, VBRFMA, PROINPA. Cochabamba, Bolivia. 101 p.
- Peralta, I., Spooner, D. 2007. History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). pp 1-27. **In:** Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Vol. 2: Tomato. M. Razdan and A. Mattoo (eds.), Science Publishers, Enfield, USA.
- Peralta, I., Spooner, D., Knapp, S. 2008. Taxonomy of Wild Tomatoes and their Relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; *Solanaceae*). The American Society of Plant Taxonomists. Systematic Botany Monographs. 186 p.
- Peterson, A. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor. The Cooper Ornithological Society.* 103(3): 599-605.
- Phillips, S., Anderson, R., Schapire, R. 2006. A maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* (190): 231-259.
- Scheldeman, X., Willems, L., Coppens D'eeckenbrugge, G., Romeijn-Peeters, E., Restrepo, M., Romero Motoche, J., Jimenez, D., Lobo, M., Medina, C., Reyes, C., Rodriguez, D., Ocampo, J., Van Damme, P., Goetghebeur, P. 2006. Distribution, diversity and environmental adaptation of highland papaya (*Vasconcellea* spp.) in tropical and subtropical America. *Biodiversity and Conservation.* 16:1867–1884. doi 10.1007/s10531-006-9086-x.
- Scheldeman, X., Van Zonneveld, M. 2010. Training manual on spatial analysis of plant diversity and distribution. *Bioversity International, Rome, Italy.* pp. 139-178.

Trabajo recibido el 28 de febrero de 2013

Trabajo aceptado el 5 de agosto de 2013

## Marchitez de plántines de tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntz) en vivero

Mario Coca-Morante

*Departamento de Fitotecnia y Producción Vegetal, FCAPFyV-UMSS*

*E mail: agr.mcm10@gmail.com*

**Resumen.** La tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntz) es una especie nativa de la región andina de Bolivia. En los últimos 20 años, diferentes proyectos han promovido el cultivo de esta especie, para aprovechar sus propiedades medicinales, alimenticias e industriales, pero durante el crecimiento de las plantaciones, se registró el ataque de enfermedades que causan pérdidas por mortandad de plantas. El estudio busca identificar al agente causal del marchitamiento de la tara, evaluando su incidencia a nivel de vivero. Se establecieron tres parcelas experimentales en platabandas en el vivero de la ESFOR; se tomó muestras de plantas aparentemente sanas y con síntomas de la enfermedad para ser analizadas en laboratorio. De los aislamientos realizados, se registró crecimiento en PDA, tanto de plantas sanas y enfermas, evidenciándose el mismo tipo de desarrollo de colonia, las que observadas al microscopio mostraron microconidias, macroconidias, phialides y clamidosporas características del hongo *Fusarium oxysporum*. En un periodo de 57 días después del repique, el promedio de la incidencia del marchitamiento de la tara fue de  $R_1=1,24$ ,  $R_2=2,45$ , y  $R_3=2,13$  por cada 14 días y las tasas de infección aparente  $r_{R1}=0.0003/\text{día}$ ,  $r_{R2}=0.0004/\text{día}$  y  $r_{R3}=0.0003/\text{día}$ . En conclusión, el marchitamiento de la tara causado por *F. oxysporum* fue aislado de plantas enfermas y sanas (o aparentemente sanas) y registra parámetros de crecimiento de la incidencia del marchitamiento de la tara, característicos de epifitias monocíclicas.

**Palabras clave:** Patógenos del Suelo; Epifitias Poliéticas, Intensidad de la Enfermedad

**Abstract. Withering of seedlings of tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntz) in a nursery.** The tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntz) is a native species of the andean region of Bolivia. In the last 20 years, different projects have promoted the cultivation of this species, to profit its medicinal, alimentary and industrial properties, but during the growth of the plantations, it was registered the attack of diseases that cause losses by death of the plants. The study searches the identification of the causal agent for the withering of the tara, evaluating the incidence in a nursery level. There were established three experimental plots in cover plates in the nursery of ESFOR. Samples were taken from the plants that were apparently healthy and from those that presented symptoms of the disease, to be analyzed in laboratory. From the carried out isolations, it was registered growth in PDA, in healthy and ill plants, showing the same type of colony development, which observed at microscope showed microconidium, macroconidium, phialides, and chlamyospore, characteristics from the fungus *Fusarium oxysporum*. In a period of 57 days after the planting out, the average of the withering incidence of tara was of  $R_1=1,24$ ,  $R_2=2,45$ , y  $R_3=2,13$  for every 14 days, and the rates of apparent infection  $r_{R1}=0.0003/\text{day}$ ,  $r_{R2}=0.0004/\text{day}$  and  $r_{R3}=0.0003/\text{day}$ . In conclusion, the withering of the tara caused by *F. oxysporum* was isolated from ill and healthy plants (or apparently healthy) and it registers growth parameters of the withering incidence of the tara, characteristic from the monocyclic epiphytes.

**Keywords:** Soil Pathogens; Polyethic Epiphytes; Disease Intensity

## Introducción

La tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntz) es una especie forestal nativa de la región Andina y se encuentra distribuida en países como Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia, Venezuela y Norte de Chile (Mancero, 2008).

En Bolivia, crece en estado natural en las zonas de valles interandinos (1000-3000 msnm). Esta especie forestal debido al contenido de taninos, ácido gálico y otros componentes tienen propiedades medicinales, alimenticias e industriales (Mancero, 2008; Cabello, 2009). En Bolivia, aproximadamente desde el año 2005, diferentes proyectos con el apoyo de la cooperación internacional, promovieron el cultivo de la tara (*C. spinosa*) con fines de aprovechamiento de sus propiedades (Mancero, 2008). De esta manera, la producción de plantines de tara en viveros se convirtió en una actividad importante.

En la actualidad existe una cantidad de viveros públicos y privados que están abasteciendo de plantines de tara a los productores en el Valle de Cochabamba y de otras regiones (Mancero, 2008). Sin embargo, en el último tiempo, se ha evidenciado el incremento de enfermedades que están afectando a la producción de plantines de tara en vivero y en consecuencia a las plantaciones de campo (Coca Morante, 2008). Aunque, se indica que la tara no presenta mayores problemas fitosanitarios de plagas y enfermedades, salvo en algunas zonas donde se presenta el Oídium (Mancero, 2008).

Una de las enfermedades que se encuentran afectando en viveros así como en campo en el Valle de Cochabamba y

algunas otras regiones de Bolivia, es el marchitamiento de la tara. Esta enfermedad puede causar pérdidas significativas en campo. Según, Coca Morante y Sejas Gonzales (2014), en plantaciones de campo en la localidad de “La Aguada”, Valle Grande del departamento de Santa Cruz, Bolivia, el año 2012, se registró 26% y 45% de incidencia del marchitamiento de la tara en una plantación de cinco años de edad.

El marchitamiento de la tara es causado por *Fusarium* sp. (Coca Morante, 2008). El hongo *Fusarium* sp. contiene una diversidad de especies que afectan a diferentes cultivos (Summerell, Salleh y Leslie 2003; Leslie y Summerell, 2006). Este hongo fitopatógeno debido a su importancia científica y económica, ha sido categorizado como uno de los 10 hongos fitopatógenos más importantes de los cultivos a nivel mundial (Dean *et al.*, 2012). La especie *Fusarium oxysporum* Schlecht es un patógeno del suelo que causa marchitez vascular en un amplio rango de plantas (Dean *et al.*, 2012). Los síntomas característicos incluyen: decoloración vascular, progresivo marchitamiento, enanismo, defoliación y muerte de la planta (Agrios, 1996).

Por su condición de patógeno del suelo, *F. oxysporum*, puede infectar la producción en vivero y diseminarse a través de los plantines en forma asintomática (aparentemente sana) y con síntomas característicos iniciales. Los propágulos de *F. oxysporum* pueden sobrevivir en el suelo durante largos periodos de tiempo y en ausencia de hospedantes (Roncero *et al.*, 2003). Cuando la infección ocurre en los plantines o en campo, la enfermedad puede desarrollar gradualmente hasta causar la muerte de la planta en varios años. Este tipo de epifi-

tía es caracterizada como monocíclica (Campbell y Madden, 1990). La estimación confiable de la intensidad (incidencia y severidad) de la enfermedad, es fundamental para la ejecución de la acción de umbrales y se necesita el modelamiento de la distribución espacial de la enfermedad, para el desarrollo de procedimientos de vigilancia de las enfermedades (Shtienberg, 2000).

El objetivo del presente estudio fue identificar el agente causal del marchitamiento de la tara y evaluar la incidencia de la enfermedad en condiciones de producción de plantines en vivero.

## Materiales y métodos

### Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en el vivero de la Escuela de Ciencias Forestales (ESFOR), dependiente de la FCAPFyV-UMSS. La ESFOR se encuentra localizada en la cota 2750 msnm del área del Parque Nacional Tunari, en la provincia Cercado del departamento de Cochabamba. Geográficamente se encuentra localizada a 17°27' de Latitud Sud y 66°09' de Longitud Oeste.

Posee un clima seco y templado. Las temperaturas promedio mínimas son de 10°C y las máximas de 30°C, con una precipitación pluvial de 450 mm (SE-NAMHI, 2014).

### Identificación del agente causal

La identificación del agente causal del marchitamiento de los plantines de tara (*C. spinosa*), se realizó a partir de la recolección de ocho muestras de plantines de forma aleatoria de las repeticio-

nes del experimento del año 2013, por una parte, cuatro plantines aparentemente sanos (Figura 1, imagen superior) y cuatro plantines con síntomas de marchitamiento (Figura 1, imagen inferior).



**Figura 1A:** Plantines de tara embolsada para crecimiento en vivero, con síntomas de marchitamiento



**Figura 1B:** Plantas con síntomas visibles de pudrición radicular (lado izquierdo)

Las muestras recolectadas fueron procesadas en laboratorio a partir de sus raíces (Figura 1B), lavando con agua corriente para eliminar restos de suelo y raicillas, luego enjuagadas con agua destilada esterilizada ( $H_2O_d$ ). De donde se tomaron segmentos de 0.5 cm de raíces desinfectadas en alcohol 70%, luego enjuagadas en  $H_2O_{de}$ , para sembrar en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) enriquecido con estreptomina, cada uno con dos repeticiones

por muestra, luego, incubado a 24°C por 72 horas y sometidos a luz y oscuridad durante 24 horas por 72 horas.

Para la identificación, se realizó montajes en solución de lactofenol con azul de metileno para observación al microscopio, a partir del crecimiento de micelio en PDA. La identificación de género y especie se realizó de acuerdo a las claves descritas por Summerell, *et al.*, 2003 y Leslie y Summerell, 2006.

### ***Establecimiento de parcelas experimentales***

Durante dos años 2010 y 2013, se establecieron parcelas experimentales sobre una platabanda de producción de plántines de tara (*C. spinosa*). El año 2010, se estableció en el mes de septiembre y el año 2013, en octubre. En ambos años, el almacigo se realizó en sustrato de tierra vegetal, negra y limo (1:2:1) sin ningún tratamiento de desinfestación (práctica común de los viveros) y utilizando semilla proporcionada por el Banco de Semillas Forestales (BASFOR). Después de la emergencia, los plántines fueron repicados en bolsas de plástico negro (15 cm \* 8 cm) conteniendo una mezcla de sustrato de tierra negra y limo (2:1).

Las parcelas experimentales fueron establecidas al estado de formación de dos hojas verdaderas de los plántines, de una superficie aproximada de 1 m<sup>2</sup> conteniendo cada uno de ellos:

- Parcela 1 (R<sub>1</sub>) de 600-700 plántines.
- Parcela 2 (R<sub>2</sub>) de 700-800 plántines
- Parcela 3 (R<sub>3</sub>) de 700-800 plántines.

Se realizaron deshierbes continuos y hasta dos tratamientos fitosanitarios alternados, con caldo sulfocálcico -

mezcla de Ca (OH)<sub>2</sub> con azufre- a una dosis de 1 litro por 20 litros de agua y Taspa -Propiconazole+Difeconazole- a una dosis de 2cc/l de agua, para el control de Oidio.

### ***Evaluación de incidencia***

La evaluación de la incidencia de la enfermedad, se realizó a partir de la relación porcentual (Madden *et al.*, 2007):

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{Nro. de plantas con síntomas}}{\text{Total de plantas por parcela}} \times 100$$

El año 2010, se realizó cinco evaluaciones, y el año 2013 se realizó seis, con una frecuencia de 14 días. Con los datos de incidencia se elaboró la *Curva de Progreso de la Enfermedad* y se realizó la linearización utilizando el logit LN(y/1-y) (Campbell y Madden 1990; Van Maanen y Xu, 2003).

## **Resultados y discusión**

### ***Descripción de síntomas del marchitamiento de la tara***

Los síntomas característicos del marchitamiento de la tara (*C. spinosa*), en plántines en vivero, se presentan como amarillamiento inicial de los folíolos y defoliación, que en algunos casos, se presenta simultáneamente con el inicio de enrojecimiento del envés de los folíolos (Figura 2A); gradualmente estos folíolos comienzan a tomar una pigmentación rojiza intensa seguido de una notable defoliación (Figura 2B).

Los plántines con estos síntomas foliares presentan menor desarrollo en relación con las plantas sanas (Figura 2C, lado izquierdo); asimismo, el sistema

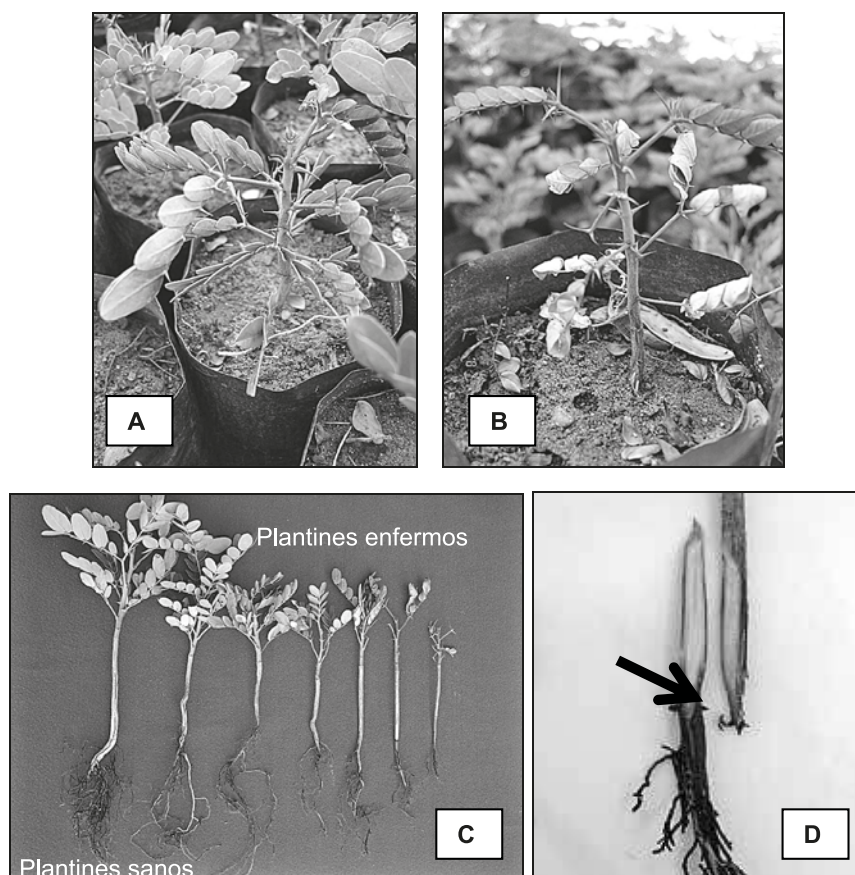
radicular de los plantines con síntomas, se muestran en proceso de descomposición, con ausencia casi completa del sistema radicular secundario (Figura 2C, lado izquierdo); finalmente, los plantines con síntomas presentan en los haces vasculares del xilema, una decoloración vascular de color marrón oscuro a nivel de la base del tallo (Figura 2D).

### **Identificación del agente causal**

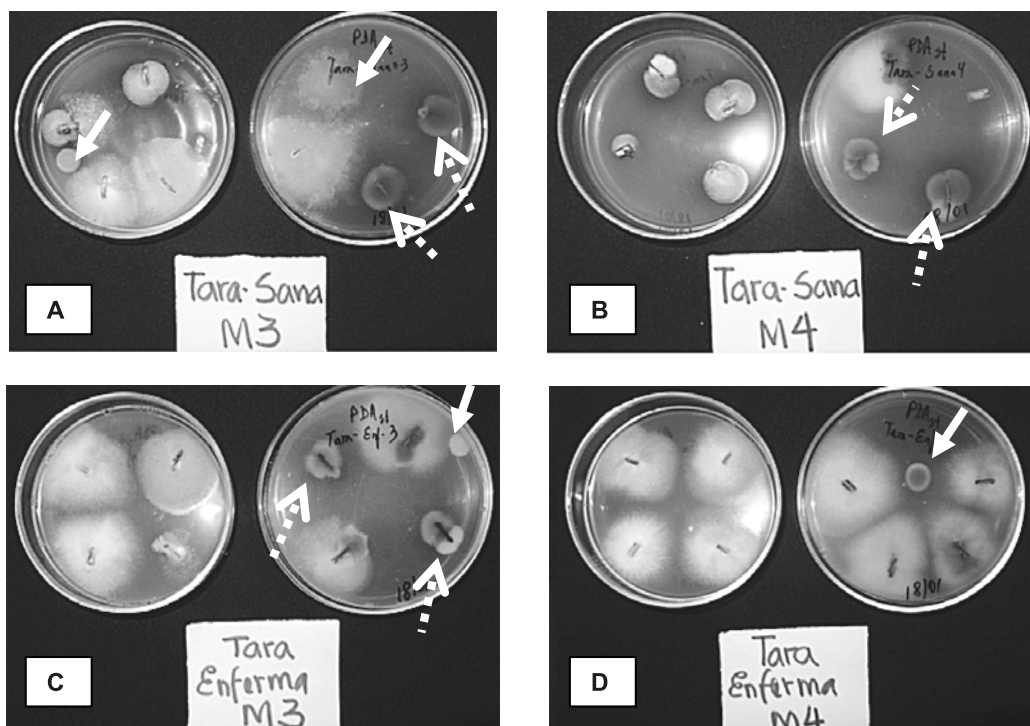
Todas las muestras (sanas y enfermas) y repeticiones que fueron sembradas en

medio de cultivo PDA, presentaron crecimiento de micelio (figuras 3 y 4).

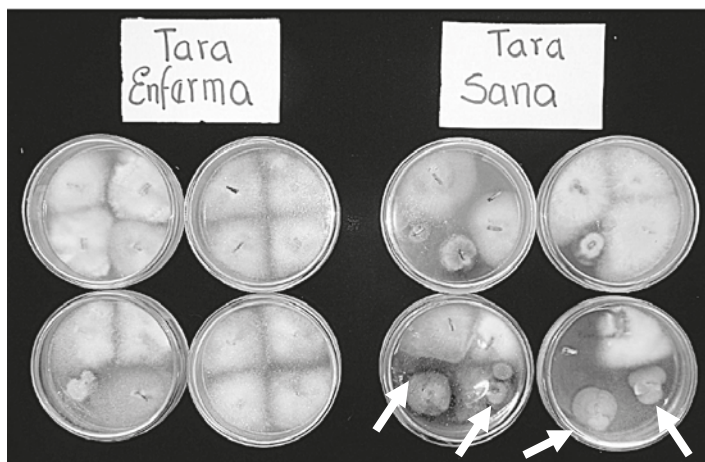
En algunas repeticiones se registró un solo tipo de crecimiento y en algunas repeticiones se registró el crecimiento de otros hongos contaminantes (Figura 3, flecha roja) y otros asociados a hongos del suelo (Figura 3, flecha blanca). Todas las muestras presentaron crecimiento de colonias de color lila, suave (Figura 3B, E, F, G, H) a intenso (Figura 3A, C, D).



**Figura 2.** Síntomas característicos del marchitamiento en plantines de la tara.  
**A:** Amarillamiento de los folíolos y defoliación; **B:** Enrojecimiento foliar y defoliación;  
**C:** Sistema radicular de plantines con síntomas de la enfermedad (lado derecho) y plantines aparentemente sanos (lado izquierdo);  
**D:** Decoloración vascular (flecha) en la parte basal del tallo de un plantín con síntomas de marchitamiento.



**Figura 3.** Crecimiento de trozos de raíces de plantines de tara, aparentemente sanas (A-B) y enfermas (E-H) en PDA, con repeticiones con crecimiento de contaminantes (flecha entera) y crecimiento de *Cylindrocarpon* sp. (flecha punteada).



**Figura 4.** Crecimiento de *Fusarium* sp. (colonia rosado claro) y *Cylindrocarpon* sp. (flecha blanca) en PDA a partir de raíces de plantas enfermas (con síntomas de la enfermedad, lado izquierdo) y plantas sanas o aparentemente sanas de tara (lado derecho)

Al microscopio, en todas las colonias de color lila, se observaron esporas macro y microconidias (Figura 5A), monop-

hialides con cabezas falsas (Figura 5B) y clamidosporas solas y en pares (Figura 5C), característicos de *Fusarium* sp.

(Summerell *et al.*, 2003 y Leslie y Summerell, 2006). Las colonias de color naranja y por la presencia de esporas, coinciden para la descripción de *Cylindrocarpom* sp.

### ***Incidencia del marchitamiento de la tara***

En la Figura 6, se muestra la *Curva de Progreso de la Enfermedad* (CPE) de la incidencia del marchitamiento de la tara en las tres repeticiones ( $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$ ) para los años 2010 (Figura 6A) y 2013 (Figura 6B, C). Sin embargo, es ligeramente superior el año 2010.

En el año 2013, la CPE muestra que desde el almacigo hasta el primer registro de incidencia, transcurrieron 108 días, y desde el almacigo hasta la incidencia inicial 150 días ( $R_1=0.44\%$ ,  $R_2=1.15\%$ , y  $R_3=0.88\%$ ) (Figura 6A).

En ambos años, el tiempo de crecimiento de la CPE fue de 55 días. En el año 2010, la CPE alcanzó un promedio de crecimiento de  $R_1=2.56\%$ ,  $R_2=3.15\%$  y  $R_3=2.22\%$  (Figura 6A); en contraste, en

el año 2013, los promedios alcanzaron  $R_1=1.24\%$ ,  $R_2=2.45\%$  y  $R_3=2.13\%$  (Figura 6C).

El crecimiento promedio general de la incidencia, en el periodo de 55 días para el año 2010 fue 2.64% y para el año 2013 fue 1.94%.

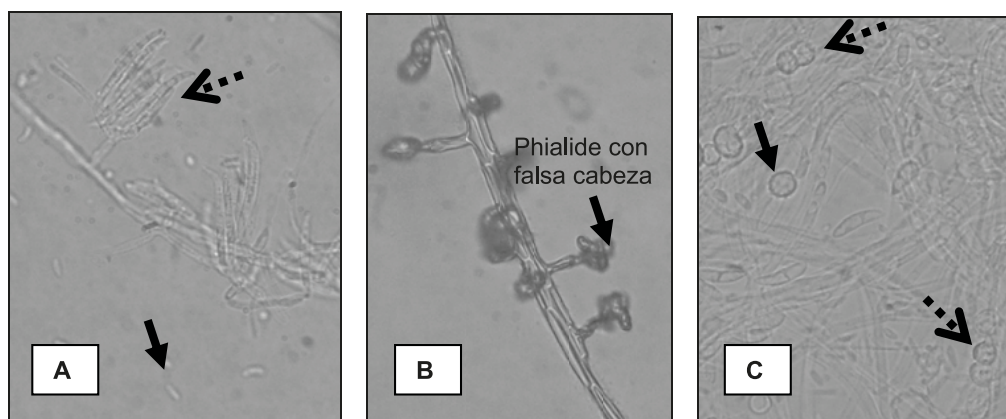
### ***Tasa de infección aparente de la CPE del marchitamiento de la tara***

Las rectas de las CPE de los años 2010 y 2013, se muestran en las figuras 7A y 7B. Las tasas de infección aparente para estas tres CPE, en el año 2010, fueron:

$$\begin{aligned} r_{R1} &= 0,0003/\text{día} \\ r_{R2} &= 0,0003/\text{día} \\ r_{R3} &= 0,0003/\text{día} \end{aligned}$$

y para el año 2013:

$$\begin{aligned} r_{R1} &= 0,0003/\text{día} \\ r_{R2} &= 0,0004/\text{día} \\ r_{R3} &= 0,0003/\text{día} \end{aligned}$$



**Figura 5.** Características morfológicas de *Fusarium oxysporum*.  
**A:** Macroconidias (flecha punteada) y microconidias (flecha entera);  
**B:** Monophialides cortos con falsas cabezas formado por microconidias (flecha entera); **C:** Clamidosporas en pares (flecha punteada) y solas (flecha entera)

Los errores experimentales estimados para el año 2010 fueron:

$R^2=0.98$ ,  $R^2=0.99$  y  $R^2=0.95$  (Figura 7A)

y para el año 2013 fueron:

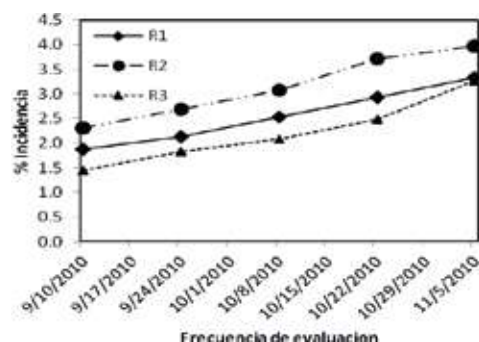
$R^2=0.99$ ,  $R^2=0.99$  y  $R^2=0.94$  (Figura 7B)

*Fusarium* sp. es un fitopatógeno que causa un amplio rango de enfermedades en diversas plantas, siendo los más importantes la pudrición de la corona, raíz, tallo y granos, tizón de la espiga del trigo y marchitamientos vasculares de las plantas (Summerell *et al.*, 2003).

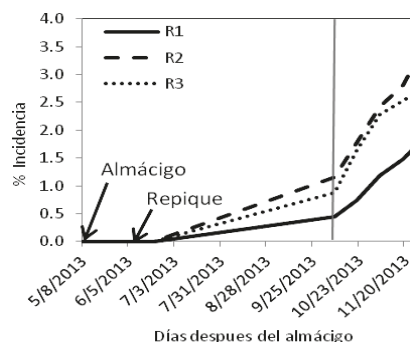
Con el presente estudio se demuestra que también es causante del marchitamiento de la tara. Los síntomas caracte-

rísticos de esta enfermedad se presentan como amarillamiento inicial y enrojecimiento gradual de las hojas, defoliación, decoloración vascular, enanismo, muerte de la plántula y pudrición del sistema radicular.

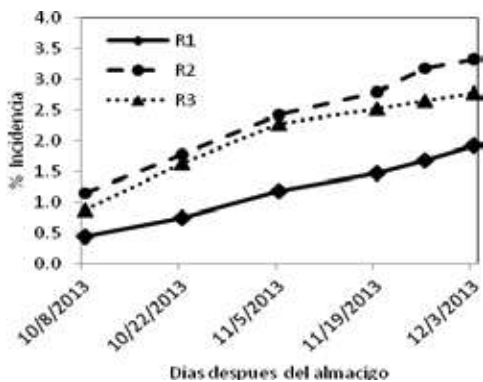
Los síntomas descritos para esta enfermedad de la tara son concordantes con la descripción de Agrios (1996), quien indica que *Fusarium oxysporum* Schlecht., es un patógeno que está presente en todas partes y es transmitido por el suelo y causa marchitamiento vascular en un amplio rango de plantas, y los síntomas característicos de la enfermedad incluyen decoloración vascular, epinastia, enanismo y progresivo marchitamiento (Agrios, 1998).



A



B



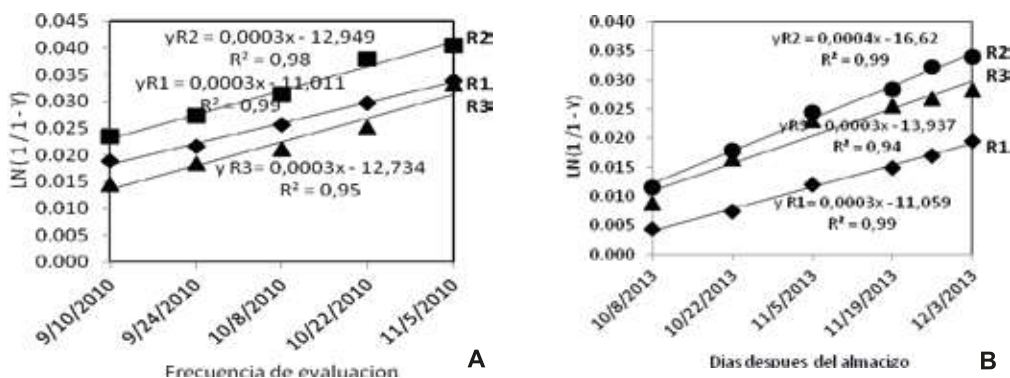
C

**Figura 6.** Curvas de Progreso de la Enfermedad (CPE) para la incidencia del Marchitamiento de la Tara causado por *F. oxysporum*.

**A:** CPE, Año 2010;

**B:** Año 2013, CPE de la incidencia del marchitamiento a partir del repique de los plantines hasta la última evaluación;

**C:** Año 2013, CPE de la incidencia en tres repeticiones.



**Figura 7.** Linearización de las CPE del marchitamiento de la tara causado por *Fusarium* sp. en tres repeticiones. **A:** año 2010; **B:** año 2013

*F. oxysporum*, es la especie más común que causa marchitamiento vascular en una variedad de cultivos económicamente importantes (Beckman, 1987). *F. oxysporum* es una especie anamórfica caracterizada por una serie de criterios morfológicos incluyendo la forma de la macroconidia, estructura de los microconidioforos y la formación y disposición de las clamidosporas (Roncero *et al.*, 2003).

Los aislamientos obtenidos a partir de las muestras de raíces de plantines de tara con síntomas de la enfermedad y aparentemente sanos, mostraron la coloración lila suave, en las observaciones al microscopio presentaron las estructuras características de macroconidias, conidióforos con phialides cortos y cabezas falsas y clamidosporas en pares y solitarias (Figura 5A, B y C). De acuerdo con la característica de color de colonia, la presencia de dos tipos de esporas, phialides y clamidosporas coincide para la descripción de *Fusarium oxysporum* realizada por Summerell *et al.*, 2003 y Leslie y Summerell 2006. En algunos aislamientos, fue recuperado a *Clamidosporum* sp. Ambos patógenos son del suelo, *F. oxysporum*, es caracterizado como fitopatógeno que afecta a

una variedad de especies cultivadas anuales y frutales, y *Cylindrocarpon* sp. también es un patógeno del suelo, generalmente asociado a infecciones causadas por patógenos del suelo.

Las CPE de la incidencia del marchitamiento de la tara, durante los dos años de evaluación, son similares, aunque el promedio general de crecimiento de la CPE del año 2010 es ligeramente superior con 0.7%, probablemente debido a otros factores no estimados en el presente estudio. Ambas CPE muestran un patrón de crecimiento lineal. Vanderplank (1963), citado por Campbell y Madden (1990), en un estudio del marchitamiento del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vasinfestum* Snyder y Hansen, indica que *el incremento del número de plantas marchitadas en el tiempo, no es causada por la diseminación del hongo de planta a planta, sino que para esta enfermedad el inóculo presente en el suelo, al principio de la temporada, sigue siendo la principal fuente de inóculo*, es decir hay un incremento de la enfermedad sin la multiplicación del patógeno en el sentido que el patógeno no se mueve de planta en planta y el inóculo producido durante la

estación de crecimiento (días), no se mueve hacia plantas no infestadas, por esta razón, Vanderplank (1963), categoriza a estas enfermedades como monocíclicas. En las enfermedades monocíclicas “hay un solo ciclo de infección en una epidemia” (Madden *et al.*, 2007).

En el presente caso del marchitamiento de la tara, la fuente de infección es el suelo. Los propágulos de *F. oxysporum* pueden sobrevivir en el suelo durante largos periodos de tiempo y en ausencia de hospedantes (Roncero *et al.*, 2003), por esta condición a *F. oxysporum* se conoce como patógeno del suelo y puede infectar la producción en vivero y diseminarse a través de los plantines en forma asintomática (aparentemente sana) y con síntomas característicos iniciales.

Cuando la infección ocurre en los plantines o en campo, la enfermedad puede desarrollar gradualmente hasta causar la muerte de la planta en varios años. Este tipo de epifitias es caracterizada como monocíclica (Campbell y Madden, 1990).

Van der Plank (1960, citado por Van Maanen y Xu, 2003) indica que las enfermedades monocíclicas podrían ser descritas por modelos monomoleculares y los parámetros importantes en estos modelos son el inóculo inicial ( $y_0$ ), la tasa de infección aparente ( $r$ ) y el nivel máximo de la enfermedad.

Estos modelos han sido utilizados para analizar diferentes epifitias en cultivos anuales como la caída de la lechuga (*Lactuca sativa*) causada por *Sclerotinia minor*, la pudrición de la raíz del trigo (*Triticum sativum* L.) causada por *Cochliobolus sativus* (Campbell y Madden, 1990), la caída de lechuga causada

por *Sclerotinia minor* y *S. sclerotiorum* (Hao y Subbarao, 2005), etc.

Las tasas de infección aparente ( $r$ ) obtenidas para las CPE del 2010 y 2013, son similares y bajas ( $r_{2010}=0.0003/\text{día}$  y  $r_{2013}=0.0003-0.0004/\text{día}$ ), similares a las obtenidas por otros autores para enfermedades monocíclicas causadas por patógenos del suelo en cultivos anuales (Campbell y Madden, 1990; Hao y Subbarao, 2005; Madden *et al.*, 2007).

## Conclusiones

- Los síntomas característicos del marchitamiento de la tara se presentan como amarillamiento, posteriormente un gradual enrojecimiento de los folíolos y casi inmediatamente defoliación gradual y muerte del plantín y sistema radicular completamente descompuesto.
- En todas las muestras de plantines, tanto con síntomas de la enfermedad y sanos o aparentemente sanos, se registró crecimiento del agente causal en PDA.
- Por las características morfológicas de las colonias de crecimiento en PDA y las características de microconidias, macroconidias phialides y clamidosporas, el agente causal del marchitamiento de la tara es *Fusarium oxysporum*.
- En vivero, el crecimiento de la *Curva de Progreso de la Enfermedad* de la incidencia del marchitamiento de la tara, se ajusta al tipo de epifitias monocíclica, con bajas tasas de infección aparente, características de enfermedades causadas por patógenos del suelo.

## Referencias citadas

- Agrios, G. 1996. Plant Pathology. St. Louis, MO: Academic Press.
- Campbell, C., Madden, L. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. Wiley, New York.
- Beckman, Ch. 1987. The Nature of Wilt Diseases of Plants. St Paul, MN: American Phytopathological Society.
- Coca Morante, M. 2008. Principales enfermedades de la tara (*Caesalpinia spinosa*). Boletín técnico No 4. FCAP-FyV-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 4 p.
- Coca Morante M., Sejas, D. 2014. Informe de aplicación de tratamientos para evaluación de control curativo en la enfermedad marchitamiento de la tara en plantación establecida en la localidad de La Aguada, Valle Grande, departamento de Santa Cruz, Bolivia. Cochabamba, Bolivia. 3 p.
- Cabello I. 2009. Monografía para el cultivo de la tara *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze. Perú Biodiverso. Lima, Perú. 32 p.
- Dean, R., Van Kan, J., Pretorius, Z., Hammond-Kosack, K., Di Pietro, A., Spaun, P., Rudd, J., Dickman, M., Kahmann, R., Ellis, J. Foster, G. 2012. Review: The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Molecular Plant Pathology 13(4), 414–430.
- Hao, J., Subbarao, K. 2005. Comparative Analysis of Lettuce Drop Epidemics Caused by *Sclerotinia minor* and *S. sclerotiorum*. Plant Dis. 89:717-725.
- Leslie, J., Summerell, B. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing. 306 p.
- Madden, L., Gareht, H., van den Bosch, F. 2007. The Study of Plant Disease Epidemics. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota 55121, USA.
- Mancero, L. 2008. La Tara (*Caesalpinia spinosa*) en Perú, Bolivia y Ecuador: Análisis de la Cadena Productiva en la Región. Programa Regional ECOBONA - INTERCOOPERATION, Quito. Quito, Ecuador.
- Roncero, M., Isabel, G., Hera, C., Ruiz-Rubio, M., García, M., Madrid, M., Caracuel, Z., Calero, F., Delgado-Jarana, J., Roldan-Rodríguez, R., Martínez-Rocha, A., Velasco, C., Roa, J., Martín-Urdiroz, M., Córdoba, D., Di Pietro, A. 2003. Review: Physiological and Molecular Plant Pathology 62 (2003) 87-98.
- Shtienberg, D. 2000. Modelling: The Basis for Rational Disease Management, *Crop Protection*, Vol. 19, No. 8-10, 2000. pp. 747-752.
- Summerell, B., Salleh, B., Leslie, J. 2003. A utilitarian approach to *Fusarium* Identification. *Plant Disease* Vol. 87 No 2, 117-128.
- Van Maanen, A., Xu, X. 2003. Modelling plant disease epidemics. *European Journal of Plant Pathology*. 109: 669-682.

*Trabajo recibido el 17 de marzo de 2014*  
*Trabajo aceptado el 29 de marzo de 2014*

# ***Evaluación Visual de Suelos (EVS): Una herramienta práctica para medir sostenibilidad de la agricultura***

José R. Benites Jump <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Consultor en manejo de tierras y aguas, agricultura de conservación y fertilidad de suelos*

*E mail: jbenitesjump@gmail.com*

**Resumen.** El trabajo expone consideraciones técnicas que sustentan la metodología denominada *Método de Evaluación Visual de Suelos (EVS)*, el cual se basa en la observación y calificación subjetiva, de indicadores clave del "estado" del suelo, tales como la textura, estructura y consistencia, porosidad, color, entre otros. Se evaluó la relación entre datos observados a través de la EVS, con datos determinados a nivel de laboratorio, encontrándose, en todos los casos una correlación altamente significativa en la mayoría de los parámetros considerados, lo cual indica que el método EVS es confiable y válido para estimar la "salud" y estado del suelo, de una manera rápida y directa, que se puede utilizar de manera complementaria a los procedimientos cuantitativos, siendo una herramienta útil y práctica a nivel de parcelas y áreas agrícolas en general.

**Palabras clave:** Edafología; Aspectos Físicos del Suelo; Evaluaciones Subjetivas

**Abstract. Visual Evaluation of Soils: A practical tool to measure the sustainability of the agriculture.** The investigation presents technical considerations to sustain the methodology denominated Method of Visual Evaluation of Soils (EVS), which is based on observation and subjective qualification, of key indicators of the soli "state", such as texture, structure and consistency, porosity, color, among others. It was evaluated the relationship between observed data through the EVS, with determinate data in a laboratory level, finding in all cases a highly significant correlation in most of the considered parameters, which indicates that the EVS method is reliable and valid to estimate the "health" and state of the soil, in a fast and straight way, that can be used in a complementary manner to the quantitative procedures, being an useful and practical tool in a plot and agricultural areas level in general.

**Keywords:** Soil science; Physical Aspects of Soil; Subjective Evaluations

## **Introducción**

Las propiedades físicas del suelo son muy importantes para mantener su productividad. La degradación de estas propiedades, tiene efectos considerables sobre el crecimiento de las plantas, apreciables sobre todo, cuando se analiza la relación suelo-planta, su rendimiento y la calidad de sus cosechas, sin olvidar el abastecimiento de nutrientes

que el suelo ofrece a la planta. El deterioro de las propiedades físicas ocurren tras muchos años de prácticas inadecuadas de cultivos; sin embargo, tratar de corregir este daño, toma más tiempo y se hace muy costoso. A su vez, esta degradación aumenta el riesgo y los daños causados por la erosión hídrica y eólica, con serios perjuicios para la sociedad y el medio ambiente. Salvaguardar el recurso suelo para las generacio-

nes futuras es la tarea principal de todos los que trabajan en el manejo sostenible de las tierras. No obstante a menudo, no se presta mucha atención a los siguientes aspectos:

- *El papel básico de la calidad del suelo en la eficiencia y sostenibilidad de la producción.*
- *El efecto de la calidad del suelo como reflejo del margen de ganancia total de producción de la finca.*
- *La necesaria planificación a largo plazo para mantener una buena calidad del suelo.*
- *El efecto de las decisiones en el manejo del suelo que influyen en la calidad del suelo.*

La forma de como se manejan los suelos de la finca, tiene un efecto determinante en el cantidad y calidad de las cosechas, y de forma marcada sobre las ganancias a largo plazo.

## Principios y conceptos

Las evaluaciones visuales de las cualidades y características del suelo, proporcionan un método práctico, semi cuantitativo y de bajo costo para evaluar y efectuar un seguimiento a las características del suelo, comparadas con medidas de campo y laboratorio.

El *Método de Evaluación Visual del Suelo* (EVS), fue desarrollado para suministrar a los agricultores, expertos en manejo de tierras y autoridades reguladoras, una herramienta simple que les permita determinar y efectuar un seguimiento rápido, de bajo costo, fiable y muy eficaz, de la condición del suelo. Para justificar el uso del EVS, como herramienta de evaluación de características del suelo de los predios agrícolas y

de otras unidades de tierra, se han efectuado comparaciones entre el EVS y otras medidas convencionales de caracterización de las propiedades y calidad de los suelos, basados en análisis de laboratorio. Esto se ha efectuado en una amplia gama de tipos de suelo, con distintas combinaciones de rocas madres, clima, topografía, y también bajo diversos usos del suelo y prácticas de su manejo. Todas las evaluaciones de las características del suelo, mediante el método de la EVS, fueron correlacionadas estadísticamente con las evaluaciones de laboratorio.

Los valores de la estructura del suelo, medidas con la EVS, se correlacionaron significativamente con la distribución del tamaño de agregados secados en la estufa; la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) y la permeabilidad del aire estuvo ligeramente correlacionada a la macroporosidad y a la densidad de volumen, y débilmente correlacionado con la estabilidad de los agregados (figuras 1 a 3).

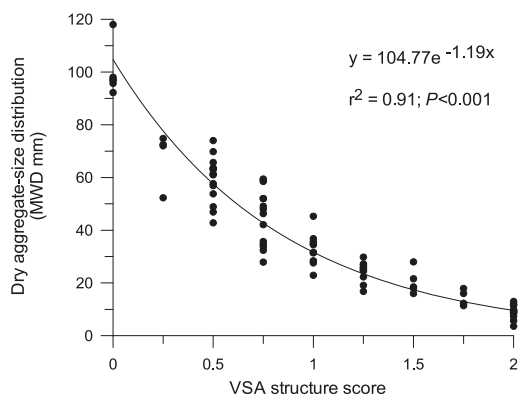
Los EVS de la porosidad del suelo se correlacionaron significativamente con el tamaño y la distribución de los agregados y la macroporosidad, y débilmente con la densidad aparente (Figura 4). Los valores del color, se correlacionaron significativamente con el contenido total de carbono y ligeramente con el contenido mineralizable del N anaeróbico de los suelos minerales, convencionalmente cultivados (figuras 5 y 6). La relación de color del suelo es significativa sólo para aquellos suelos convencionalmente cultivados, estructurados y/o con cantidades altas de materia orgánica, y no muestran evidencias visuales de anaerobicidad. Los valores de moteado del EVS se correlacionaron débilmente con la macroporosidad.

La estructura del suelo, densidad aparente, C orgánico, conductividad hidráulica y aeración del suelo (como se indicó para la permeabilidad aérea y porosidad del suelo), son las características más importantes para evaluar la condición del suelo y determinar si un suelo mantiene un ambiente favorable para el desarrollo de las raíces de la planta.

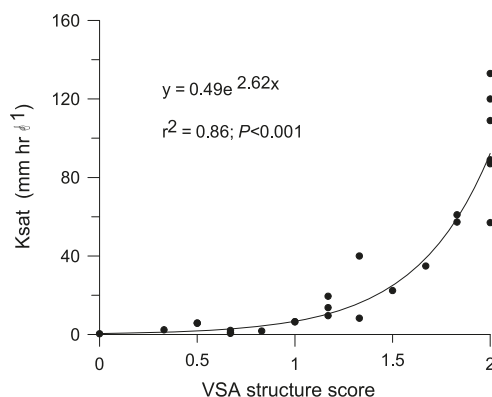
Los resultados (figuras 1 a 6) indican que estas características importantes están, en la mayoría de los casos, estrechamente relacionadas, a las propiedades del suelo visualmente-evaluadas.

Estas correlaciones indican que el método EVS es una herramienta confiable

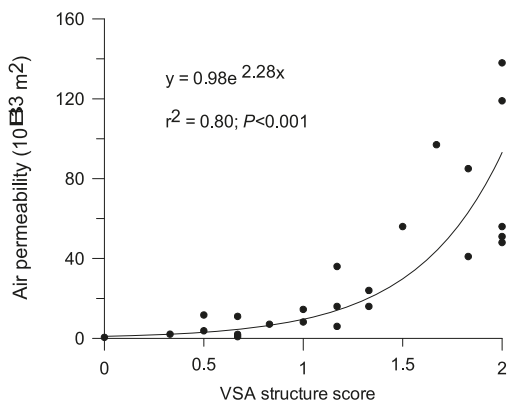
y defendible para determinar las características dominantes del suelo de manera semi cuantitativa, y que se puede utilizar conjuntamente con, y en complemento de, los procedimientos cuantitativos a nivel de fincas o nivel de otras escalas de tierra. Los agricultores y las autoridades reguladoras, pueden utilizar el método EVS, as fin de determinar la condición de su economía de los factores no visibles que están debajo del suelo, y así evaluar la eficacia de sus prácticas de manejo y sus programas de buenas prácticas en sus predios agrícolas.



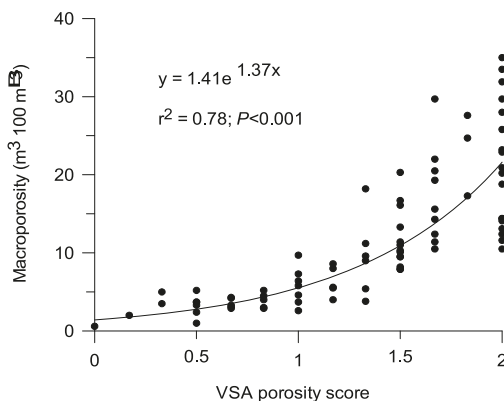
**Figura 1.** Correlación entre los valores de la estructura medidos por la EVS con el tamaño promedio de la distribución de los agregados secos en la estufa



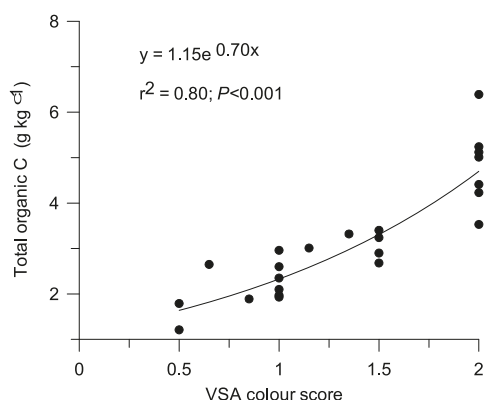
**Figura 2.** Correlación entre los valores de la estructura EVS y la conductividad hidráulica saturada



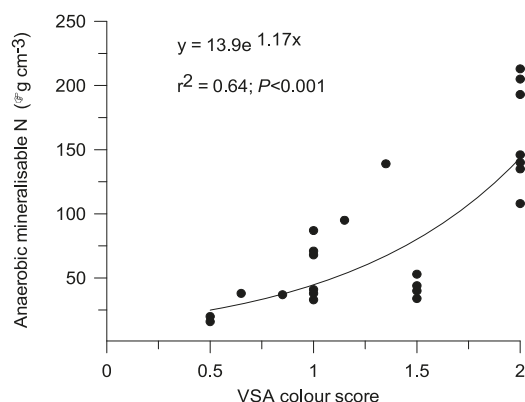
**Figura 3.** Correlación entre la estructura EVS con la permeabilidad al aire



**Figura 4.** Correlación entre la porosidad EVS con la macroporosidad



**Figura 5.** Correlación entre el color EVS y el carbón orgánico



**Figura 6.** Correlación entre el color EVS con el N anaeróbico mineralizable

## El Método de Evaluación Visual (EVS)

El *Método de Evaluación Visual (EVS)*, está basado en la observación de importantes propiedades del suelo (textura, estructura, consistencia, color, porosidad, costras superficiales, cobertura, presencia de lombrices, etc.) tomados como indicadores del estado de la calidad, los que se ordenan en una tarjeta de calificación. Los indicadores del suelo son dinámicos, capaces de cambiar bajo los regímenes de manejos diferentes y presiones de uso del suelo, siendo sensibles al cambio, ellos advierten de forma rápida, los cambios en las condiciones del suelo y constituyen una herramienta de supervisión eficaz. A cada indicador le corresponde una calificación visual (CV) de acuerdo a una escala convencional. La asignación de éstos valores a cada indicador, dependerá de la calidad del suelo observada en la muestra tomada en cada parcela, comparada con el suelo de las tres fotografías mostradas en la Figura 7. La puntuación visual es flexible, de forma que si la muestra que se evalúa no coincide plenamente con alguna de las fotografías de la Figura 7, pero si tiene similitud con alguna de ellas, se puede asignar

una puntuación intermedia, por ejemplo 0.5 o 1.5.

Como en el suelo se presentan algunos indicadores relativamente más importantes para la calidad del suelo que otros, la EVS los toma en cuenta, proporcionando un factor en una escala que varía de 1, 2, y 3. El total de la puntuación de los indicadores evaluados, provee un valor que indica la calidad de un suelo: *bueno, moderado o pobre*. A menudo, los resultados de esta práctica ayudan a conocer que cualidades del suelo constituyen una limitante productiva y permiten planificar acciones correctivas o paliativas para mejorar su rendimiento.

**Guía de campo:** Se ha desarrollado una guía de campo (ver **páginas centrales de la presente publicación**) donde se describe las herramientas necesarias para ejecutar el método de la EVS, desde el procedimiento, preparación, información del sitio, observación inicial, toma de muestra y las diferentes pruebas y evaluaciones factibles de aplicar, es decir aspectos físicos y biológicos del suelo, aspectos radiculares, efectos de la cobertura y de la erosión del suelo. Sistemáticamente, el evaluador debe anotar

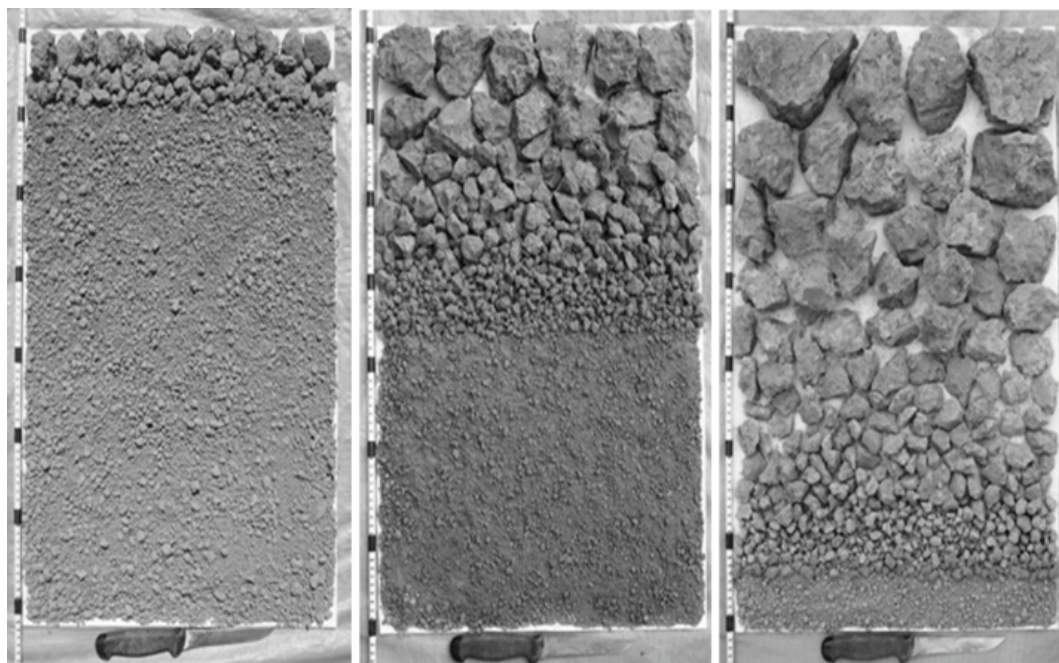
en la tarjeta de calificación, un valor o calificación visual (EVS) para cada indicador, comparando la muestra de suelo con el de las fotografías y la descripción presente en la guía del campo referida.

***Ejemplo para fijar el valor o calificación visual de la estructura del suelo:***

Se deja caer la muestra de la prueba (un cubo de suelo de 20 cm) un máximo de tres veces de una altura de 1 metro contra el fondo de una cubeta plástica. Luego se transfiere el suelo hacia la bolsa plástica grande y se ordenan de

forma que los terrones o agregados más grandes y aguzados estén en un extremo y los agregados más finos en el otro extremo.

Se distribuye los agregados en la bolsa plástica de manera que ocupen toda su superficie con una altura similar. Luego se anota en la tarjeta de calificación, asignando el valor o calificación visual (EVS) para el indicador estructura, comparando la muestra de suelo con el de las fotografías y la descripción presente en la guía del campo.



**Buena condición (CV=2):**

El suelo presenta una estructura pulverizable con predominio de agregados finos sin presencia significativa de terrones.

**Condición moderada (CV=1):**

El suelo presenta una proporción significativa (50%) de terrones densos, firmes y de agregados friables, finos.

**Condición pobre (CV=0):**

Estructura del suelo dominada por bloques grandes, densos, angulares o terrones sub-angulares, con muy pocos agregados finos.

**Figura 7.** Aspecto de la calidad del suelo a partir de criterios del *Método de Evaluación Visual*

**TARJETA DE CALIFICACIÓN**  
**Indicadores visuales de la calidad del suelo en cultivos anuales**  
**INDICADORES DE SUELO**

**Propietario:**

**Uso del suelo:**

**Localidad:**

**Municipio:**

**Referencia por GPS:**

**Fecha:**

**Tipo de suelo:**

**Clasificación de suelo:**

- ⇒ **Grupo textural (> 1 m)**  
 Arenoso    Franco    Limoso    Arcilloso    Otro
  
- ⇒ **Humedad presente:**  
 Seco    Lig. húmedo    Húmedo    Muy húmedo    Mojado
  
- ⇒ **Condiciones climáticas:**  
 Seco    Húmedo    Frío    Caluroso    Medio

Indicadores visuales de la calidad del suelo	Calificación visual (CV) *	Factor	Valor
Textura del suelo		x 3	
Estructura y consistencia del suelo		x 3	
Porosidad del suelo		x 3	
Color del suelo		x 2	
Número y color del moteado del suelo		x 2	
Conteo de lombrices (Nro. =        ) (tamaño promedio =        )		x 3	
Profundidad de penetración de raíz (        m)		x 3	
Encharcamiento superficial		x 1	
Costra superficial y cobertura superficial		x 2	
Erosión del suelo (eólica/hídrica)		x 2	
<b>Índice de la calidad del suelo (suma de valores)</b>			

\* **CV:** 0 = Condición pobre; 1 = Condición moderada; 2: Condición buena

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO	ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO
Pobre	< 15
Moderada	15 – 30
Buena	> 30

## Consideraciones finales

- La correlación significativa entre las calificaciones de la EVS y las propiedades del suelo, demuestran que es posible medir lo que se ve. Estas correlaciones indican que la EVS puede proporcionar una medición semi-cuantitativa válida de la calidad del suelo.
- Siendo rápida y barata, la EVS permite cubrir áreas grandes del paisaje rápidamente, y también áreas que deben caracterizarse cuantitativamente. Puede usarse por consiguiente junto con, y complementario a, medidas del laboratorio cuantitativas, para caracterizar y supervisar propiedades y calidad del suelo en finca, y en el ámbito regional.
- El método EVS ha sido validado por el autor de este artículo, en proyectos de la FAO en Argentina, Nicaragua, Cuba, Tanzania, Eritrea, Uzbekistan, Tajikistan, Rusia e Italia.

## Referencias sugeridas

Benites, J. 2007. Medidas de mejoramiento y conservación de suelos (Evaluación de Suelos). Cuba. Proyecto TCP/CUB/3002. FAO.

Benites, J. 2005. Promotion of CA for SARD (Project GCP/RAF/390/GER). FAO.

Benites, J. 2005. TCP/UZB/3001. Enhanced productivity of cotton-wheat systems in Uzbekistan. FAO.

Benites, J. 2005. Introduction of Conservation Agriculture - Phase II Eritrea (Project TCP / ERI / 0170 & TCP / ERI / 3005). FAO.

Benites, J. 2005. Sustainable agriculture in Karakalpakstan (Project TCP/ UZB / 2903). FAO

Benites, J. 2005. Fortaleciendo la capacidad local para un manejo sostenible (Evaluación Visual de Suelos) Nicaragua (Proyecto TCP/NIC/3001). FAO.

Benites, J. 2003. Evaluación Visual de Suelos en Argentina (Proyecto LADA). FAO.

Shepherd, T. 2000: Visual soil assessment. Volume 1. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Horizons.mw/Landcare Research, Palmerston North. 84 p.

Shepherd, G., Stagnari, F., Pisante, M., Benites, J. 2008. Annual crop, olive orchard, vineyard, wheat and orchard visual soil assessment guides. FAO.

*Trabajo recibido el 14 de marzo de 2014*

*Trabajo aceptado el 27 de marzo de 2014*

# NORMAS GENERALES DE FORMATO Y ESTILO EN LA REVISTA DE AGRICULTURA

**1. Estilo:** Cada aporte debe constar como mínimo de un título (con su traducción en inglés); nombre (s) del autor (es), el nombre de la institución responsable de la publicación, si es el caso, y direcciones para poder contactarse. Resumen de 200 palabras como máximo (con su respectiva traducción en inglés). Problemática o antecedente o introducción; desarrollo del artículo y por último referencias sobre las cuales se basaron para realizar el artículo. Todo el texto será redactado en español o castellano depurado. Se seguirán las reglas de redacción y ortografía de la lengua, con acepciones y giros que respeten la pureza del lenguaje, evitando en lo posible el uso de expresiones en otras lenguas. Se preferirá la voz activa. Se evitará toda imprecisión y rodeos.

**2. Sistema de medidas:** Se usará el Sistema Internacional de Medidas, con sus respectivas abreviaciones oficiales

## 3. Texto, tablas y figuras

**3.1 Texto:** El texto puede ser escrito en el procesador de texto Microsoft Word ® (cualquier versión), con letra Times New Roman 12 puntos. Su redacción deberá evitar oraciones y párrafos muy largos. Es preferible el punto seguido a la coma o punto y coma. El papel a utilizar será de tamaño carta con márgenes de 2.5 cm alrededor.

**3.2 Cuadros:** Los cuadros autoexplicativos, deberán expresar información (numérica) bien organizada y en forma simple, con pocas columnas y líneas, por ejemplo 4 columnas por 4 líneas. Los títulos de los cuadros deberán estar arriba de los mismos.

**3.3 Figuras:** Por figuras se entiende diagramas, gráficos, dibujos y mapas. Los gráficos numéricos deberán editarse en Microsoft Excel ® (cualquier versión), e insertarse en el documento con posibilidad de acceso a Excel desde el documento. La información a presentarse en las figuras debe ser sintética, resaltando lo más importante. Puestas en manera autoexplicativa no requerirán de abundantes aclaraciones al pie. En el caso de gráficos, se debe utilizar preferiblemente líneas o barras nítidas colocando los valores que generan el gráfico. En el caso de gráficos de dispersión, se deberá adjuntar la base de datos correspondiente en una tabla de Excel.

Los títulos de las figuras deberán estar debajo de las mismas.

**4. Fotografías:** Las fotografías se aceptarán en número necesario y con temática específica. Algunas buenas fotografías pueden ser: síntomas de enfermedades a color con enfoque y acercamiento necesarios para su autoexplicación; resultados de técnicas especiales macro o microfotografiadas, con color o monocromáticas. Se debe enviar el archivo electrónico de las fotografías en formato jpeg con 300 dpi como mínimo de resolución y como mínimo de tamaño postal. Los títulos de las fotografías deberán estar debajo de las mismas.

**5. Referencias bibliográficas:** En el texto del documento, se citarán los apellidos de los autores y los años de publicación. Todos los libros citados en el documento deben aparecer con su referencia completa en la parte de Referencias, en el debido orden alfabético.

**6. Tipo de artículos y condiciones:** La "Revista de Agricultura" recibe artículos técnicos de todo el país y el exterior. Los trabajos deben ser originales y no deben exceder de 8 páginas a renglón seguido y además deben contar con su resumen, que no se exceda de las 200 palabras y su respectiva traducción en inglés. Los trabajos (en especial los de la categoría de artículos científicos) deberán proporcionar información sobre aspectos climáticos, edáficos, diseño experimental empleado, ubicación geográfica del lugar o lugares de trabajo.

**7. Información para contacto:** Es necesario que por artículo se envíe el correo electrónico del primer autor para que nuestros lectores puedan comunicarse sí así lo requirieran. Además que debe enviarse el nombre completo de los coautores.

**8. Extensión de artículos:** Los artículos deberán tener una extensión de 8 páginas como máximo. Todos los trabajos serán revisados por el Comité Editor y su publicación dependerá de las decisiones técnicas de este Comité.



La *Revista de Agricultura* es un espacio de comunicación nacional, que brinda al lector información y conocimiento sobre la realidad boliviana y los avances en las áreas agrícolas, pecuarias, forestales y veterinarias.



## Universidad Mayor de San Simón

[www.umss.edu.bo](http://www.umss.edu.bo)



## Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria "Martín Cárdenas" (FCAPFV-UMSS)

Telf. 4762384. Fax: 4234123 - Casilla 4894  
[www.agr.umss.edu.bo](http://www.agr.umss.edu.bo)



## Centro de Investigación en Forrajes "La Violeta" (CIF-UMSS)

Telf. 4316856. Fax: 4315706  
[www.agr.umss.edu.bo](http://www.agr.umss.edu.bo)



## Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA)

Telf. 4319595. Fax: 4319600 - Casilla 4285  
[www.proinpa.org](http://www.proinpa.org)

El presente número de la *Revista de Agricultura* cuenta con el apoyo de la *Dirección de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad Mayor de San Simón*, en el marco del *Programa Horizontal de Fomento a la Investigación - Subprograma Apoyo a Proyectos de Divulgación Científica* (Convocatoria 2014).



La **REVISTA DE AGRICULTURA** en internet:

[www.agr.umss.edu.bo](http://www.agr.umss.edu.bo)  
[www.sefosam.com/rv/index.html](http://www.sefosam.com/rv/index.html)