



Universidad Mayor de San Simón

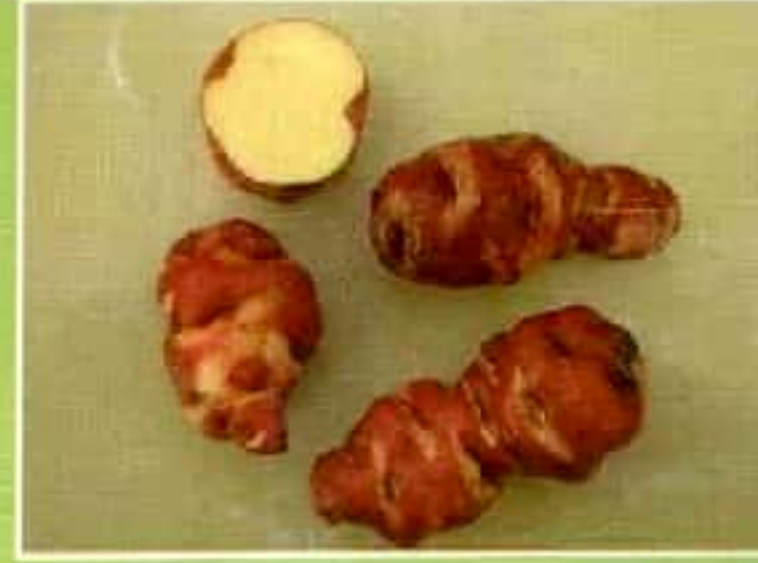
# REVISTA DE AGRICULTURA

*Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias*

AÑO 60

Nº 44

Cochabamba, Diciembre 2008



Número especial dedicado al Proyecto UNEP/GEF "Conservación *in situ* de Parientes Silvestres de Cultivos"



# Distribución Potencial, Actual y Futura de Especies Silvestres de Papa Endémicas de Bolivia

Fernando Patiño, Bruno Condori, Luis Segales, Ximena Cadima

Fundación PROINPA (Cochabamba, Bolivia)

E mail: f.patino@proinpa.org

## RESUMEN

En Bolivia se encuentran distribuidas un total de 34 especies silvestres de papa, de las cuales 21 son endémicas. Algunas de estas especies tienen distribuciones geográficas amplias y otras muy localizadas, siendo estas últimas vulnerables a la incidencia de factores de presión relacionados con la expansión de la frontera agrícola y urbana. A estos factores se suma el cambio de los regímenes de temperatura, precipitación y radiación solar ocasionados por el cambio climático. Los modelos de predicción poblacional y los sistemas de información geográfica, constituyen herramientas importantes para la identificación de zonas geográficas con probabilidad de presencia de una determinada especie vegetal en base a su bioclima. A partir de datos pasaporte recopilados de centros internacionales y del Banco Nacional de Germoplasma de Tubérculos y Raíces Andinas (BNGTR) -custodiado por la Fundación PROINPA- además de historiales climáticos de 30 arcos segundos de resolución espacial en formato Raster, se generaron mapas de distribución geográfica potencial actual y futura de especies silvestres endémicas de papa de Bolivia, a través del Programa DIVA-GIS®. En estos mapas se observan cambios importantes en las áreas de distribución de estas especies, según el caso, en algunos se incrementan o reducen las áreas de mayor probabilidad de presencia de estas especies.

**Palabras clave:** Papa silvestre, BIOCLIM, mapas, distribución, uso potencial.

## ABSTRACT

### Current and future potential distribution of endemic wild potato species of Bolivia

In Bolivia a total of 34 wild species of potato are found, of which 21 are endemic. Some of these species are distributed over large areas while others are only found very locally, the last ones being vulnerable to pressure factors related to the expansion of the agricultural and urban borders. To these factors the change of the temperature, precipitation and solar radiation regimes is added, caused by the climate change. Models of population prediction and GIS, became important tools for the identification of geographic zones with probability presence of a certain plant species based on its bioclimate. From passport data, compiled by International Centers and the National Bank of Germplasm of Tubers and Andean Roots (BNTRAs) – held in custody by PROINPA Foundation – combined with high resolution climate files, maps of present and future potential distribution of endemic wild species of potato of Bolivia were generated, using the DIVA-GIS® software. In these maps important changes in the areas of distribution of these species are observed.

**Key words:** Potato, wild, BIOCLIM, map, distribution, potential.

## Introducción

Se considera a la papa como un cultivo de alta importancia económica y alimenticia a nivel mundial, ocupando el cuarto lugar, luego del arroz, trigo y maíz (InfoResources, 2008). Tiene una especie cultivada, la cual incluye siete grupos morfológicos, y 188 especies silvestres (Spooner y Salas, 2006), todas agrupadas en el género *Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.

Se considera como especie silvestre a todas aquellas especies “ancestros” de las plantas

domesticadas, que evolucionaron en condiciones naturales desarrollando resistencia a plagas, enfermedades y factores medioambientales adversos.

Estos caracteres de resistencia están ligados a genes, los cuales son de alta importancia para la agricultura moderna, con fines de mejoramiento.

En Bolivia se han reportado 34 especies silvestres de papa (Hawkes y Hjerting, 1989; Ochoa, 2001; Hijmans *et al.* 2002), de las cuales 21 son endémicas (Patiño *et al.* 2007), distribuidas en un

rango altitudinal de 1140 a 4500 msnm (Cuadro 1), en las estribaciones de la Cordillera Oriental, en los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Santa Cruz.

En ambos casos, las poblaciones de estas especies silvestres, están siendo afectadas por factores de presión relacionados con la expansión de la frontera agrícola y urbana. A ello se suma el cambio de los regímenes de temperatura, precipitación y radiación solar, ocasionados por la creciente contaminación atmosférica.

Los modelos de predicción poblacional así como los sistemas de información geográfica, se constituyen en valiosas herramientas informáticas para analizar la dinámica de las poblaciones vegetales en base a variables climáticas, permitiendo identificar áreas geográficas con probabilidades de presencia/ausencia de una determinada especie vegetal.

**Cuadro 1.** Lista de especies silvestres de papa endémicas de Bolivia.

| Especies  | Acrónimo  |
|---|-----------|
| 1. <i>Solanum achacachense</i> Cárdenas   | ach       |
| 2. <i>Solanum alandiae</i> Cárdenas   | aln       |
| 3. <i>Solanum arnezii</i> Cárdenas  | arz       |
| 4. <i>Solanum avilesii</i> Hawkes & Hjert.  | avl       |
| 5. <i>Solanum berthaultii</i> Hawkes  | ber       |
| 6. <i>Solanum boliviense</i> Dunal subsp. <i>astleyi</i> (Hawkes & Hjert.) D. M. Spooner et al. | blv (ast) |
| 7. <i>Solanum bombycinum</i> Ochoa  | bmb       |
| 8. <i>Solanum circaeifolium</i> Bitter var. <i>capsicibaccatum</i> (Cárdenas) Ochoa             | crc (cap) |
| 9. <i>Solanum xdoddsii</i> Correll  | dds       |
| 10. <i>Solanum flavoviridens</i> Ochoa  | fvv       |
| 11. <i>Solanum gandarillasii</i> Cárdenas   | gnd       |
| 12. <i>Solanum hoopesii</i> Hawkes & K.A. Okada   | hps       |
| 13. <i>Solanum xlitusinum</i> Ochoa   | lit       |
| 14. <i>Solanum microdontum</i> Bitter var. <i>montepuncoense</i> Ochoa                          | mcd (mon) |
| 15. <i>Solanum neocardenasii</i> Hawkes & Hjert.  | ncd       |
| 16. <i>Solanum neovavilovii</i> Ochoa   | nvv       |
| 17. <i>Solanum soestii</i> Hawkes & Hjert.  | sst       |
| 18. <i>Solanum xsucrense</i> Hawkes   | scr       |
| 19. <i>Solanum ugentii</i> Hawkes & K.A. Okada  | ugt       |
| 20. <i>Solanum violaceimarmoratum</i> Bitter  | vio       |
| 21. <i>Solanum virgultorum</i> (Bitter) Cárdenas & Hawkes                                       | vrg       |

El presente artículo, tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos por el componente "Conservación complementaria *in situ* – *ex situ* de especies silvestres de papa de Bolivia"<sup>1</sup>, en la determinación del efecto del cambio climático sobre los patrones de distribución geográfica de especies silvestres endémicas de papa de Bolivia, empleando el modelo de predicción BIOCLIM (Pando y Giles, 2007). Dicho trabajo fue ejecutado en coordinación con el Proyecto CIP-ALTAGRO<sup>2</sup>.

## Materiales y métodos

### Recopilación y depuración de datos georeferenciados

La recopilación de datos georeferenciados se realizó a través de consultas a diferentes bases de datos nacionales como la del Banco Nacional de Germoplasma de Tubérculos y Raíces Andinas (Bolivia), y de centros internacionales como la del Centro Internacional de la Papa (CIP), el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el Centro para los Recursos Genéticos (Holanda) y el Instituto de Investigación Fitogenética y de Cultivos (Alemania). Estos fueron complementados con la revisión de bases de datos globales de acceso público como las del Intergenebank Potato Database.

También se consultaron publicaciones relacionadas con papas silvestres de diferentes autores, tales como Ochoa (2001), Hijmans *et al.* (2002), Spooner, *et al.* (1994) y Hijmans & Spooner (2001), con el fin de verificar la información recopilada de las bases de datos anteriormente citadas.

Los datos recopilados fueron revisados minuciosamente para la identificación de entradas carentes de información geográfica (coordenadas principalmente) para su georeferenciación. Para este fin se adoptó la metodología de la CONABIO (Muñoz *et al.*, 2004), la cual se desarrolló en tres etapas:

a) **Organización y depuración de la base de datos.** Se comprobó la consistencia de la información contenida en la base de datos inicial de especies silvestres, identificándose aquellas entradas con información incompleta para su localización y asignación de coordenadas (georeferenciación).

b) **Asignación de coordenadas, altitud y lugar de procedencia.** La asignación de coordenadas se efectuó por medio de los gaceteros:

Fallingrain:

<http://www.fallingrain.com/world/>

Biogeomancer

<http://classic.biogeomancer.org/>

y el navegador espacial Google Earth v.4.3:

<http://earth.google.es/>

mientras que el lugar de procedencia fue determinado empleando el Atlas de Municipios (INE, 2005).

c) **Validación de coordenadas y lugar de procedencia.** Las coordenadas de la base de datos depurada, fueron validadas con el programa DIVA-GIS v.5.2 ® ([www.diva-gis.org](http://www.diva-gis.org)), a través de una comparación de los datos recopilados con la base de datos de límites administrativos de Bolivia (*Check Coordinates*) y mediante el análisis de envoltura (*Envelope*).

### Elaboración de mapas de distribución potencial actual y futura

Los modelos de distribución de especies, identifican el hábitat apto para el desarrollo de poblaciones de una especie vegetal determinada, calculada a partir de observaciones de campo (puntos de observación o colecta) y una serie de variables ambientales que actúan como predictores (Pando y Giles, 2007).

Para modelar la distribución de las especies silvestres endémicas de papa, se utilizó el modelo BIOCLIM, incluido en el programa DIVA-GIS ®, el cual es un algoritmo que genera un rango ecológico de  $n$  dimensiones, siendo  $n$  el número de variables predictoras, mediante un análisis de la distribución de los registros de presencia sobre cada variable ambiental (Pando y Giles, 2007).

1 Componente del Proyecto "Conservación *in situ* de Parientes Silvestres de Cultivos a través del Manejo de Información y su Aplicación en el Campo", ejecutado en Bolivia por el Vice Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente.

2 Proyecto Agricultura Andina en el Altiplano - Centro Internacional de la Papa.

Se tomaron en cuenta solamente aquellas especies endémicas con más de 10 registros con el fin de obtener resultados confiables, en un 30%, con el modelo BIOCLIM (Hernandez, *et al.*, 2006). Si bien la subespecie *astleyi* y las variedades *capsicibaccatum* y *montepuncoense* de *S. boliviense*, *S. circaeifolium* y *S. microdontum*, respectivamente, no contaban con el número apropiado de registros para la modelación, estas se incluyeron en el estudio empleando el total de registros a nivel de especie. Se hizo la modelación con BIOCLIM para dos escenarios: con condiciones climáticas actuales y futuras (proyección para el año 2050), en base a historiales climáticos publicados en Worldclim, con una resolución de 30 arcossegundos (disponibles en internet, en: [www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)).

Los mapas de puntos de colecta de cada especie, así como los de distribución potencial actual y futura, se elaboraron con los programas DIVA-GIS® y ArcView® v.3.2:

<http://www.esri.com/software/arcview/>

### Variación de los patrones de distribución futura

Una vez obtenidos los mapas de predicción por el modelo BIOCLIM, se realizó un análisis de correlación entre las frecuencias de distribución de clima futuro y clima actual, para determinar los cambios en los patrones de distribución futura de las especies. Los resultados de este análisis se graficaron en ejes cartesianos, en los cuales los valores de cada punto, corresponden a los valores de frecuencias de cada clase de aptitud<sup>3</sup> para la especie modelada por BIOCLIM.

Por otra parte, se calculó la superficie total para el escenario con clima futuro en relación al clima actual, a fin de determinar los cambios en la distribución geográfica de cada especie en términos porcentuales.

## Resultados y discusión

Con la información recopilada de centros nacionales e internacionales, luego de un proceso de

depuración, se estructuró una base de datos constituida de 356 registros correspondientes a 21 especies silvestres de papa endémicas de Bolivia. La cuantificación de registros, de esta base de datos para su utilización en el modelo BIOCLIM, identificó a 11 especies silvestres endémicas con más de 10 registros (Cuadro 2), necesarios para una modelación confiable. Se modelaron las distribuciones potenciales actuales y futuras de estas 11 especies silvestres en base a las cuales se construyeron mapas para cada especie (Figura 1) con ayuda de los programas DIVA-GIS® y ArcView® v.3.2.

**Cuadro 2.** Especies silvestres endémicas modeladas con BIOCLIM.

| Nro          | Especie  | Número de registros |
|--------------|--|---------------------|
| 1.           | <i>S. alandiae</i>                                     | 26                  |
| 2.           | <i>S. arnezii</i>                                      | 14                  |
| 3.           | <i>S. berthaultii</i>                                  | 49                  |
| 4.           | <i>S. boliviense</i> (subsp. <i>astleyi</i> )          | 24                  |
| 5.           | <i>S. circaeifolium</i> (var. <i>capsicibaccatum</i> ) | 33                  |
| 6.           | <i>S. xdoddsii</i>                                     | 20                  |
| 7.           | <i>S. gandarillasii</i>                                | 15                  |
| 8.           | <i>S. hoopesii</i>                                     | 11                  |
| 9.           | <i>S. microdontum</i> (var. <i>montepuncoense</i> )    | 39                  |
| 10.          | <i>S. xsucrense</i>                                    | 55                  |
| 11.          | <i>S. violaceimarmoratum</i>                           | 13                  |
| <b>Total</b> |  | <b>299</b>          |

El análisis de correlación de las frecuencias de presencia, bajo condiciones climáticas actuales y futuras (Figura 2), muestra una mayor presencia de 5 especies silvestres (*S. alandiae*, *S. arnezii*, *S. berthaultii*, *S. circaeifolium* var. *capsicibaccatum* y *S. gandarillasii*) bajo condiciones climáticas futuras, indicando una posible mayor diseminación de estas especies. Contrariamente, las restantes 6 especies (*S. boliviense* subsp. *astleyi*, *S. xdoddsii*, *S. hoopesii*, *S. microdontum* var. *montepuncoense*, *S. xsucrense*, *S. violaceimarmoratum*) podrían tener una menor presencia en el futuro, debido a un posible riesgo de extinción.

3 BIOCLIM modela seis clases de aptitud:

No apropiado, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto y Excelente para una determinada especie vegetal en base a los datos climáticos empleados para la modelación.

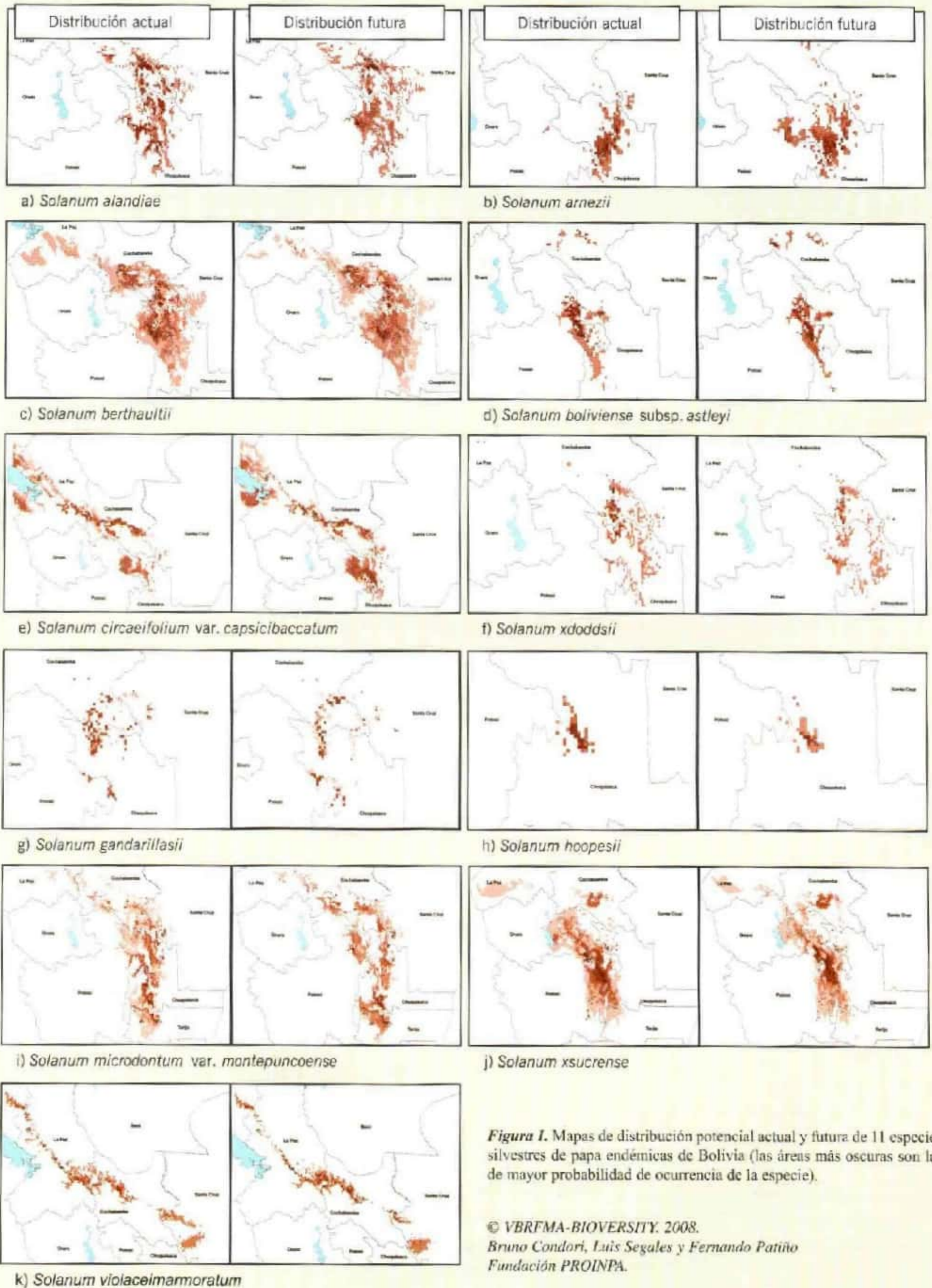


Figura 1. Mapas de distribución potencial actual y futura de 11 especies silvestres de papa endémicas de Bolivia (las áreas más oscuras son las de mayor probabilidad de ocurrencia de la especie).

© VBRFMA-BIOVERSITY. 2008.  
 Bruno Condori, Luis Segales y Fernando Patiño  
 Fundación PROINPA.

Estas tendencias se confirman al hacer comparaciones entre las superficies potenciales de distribución de cada especie en el escenario de clima futuro en relación al clima actual. Según el Cuadro 3, *S. alandiae*, *S. arnezii*, *S. berthaultii*, *S. circaeifolium* var. *capsicibaccatum* y *S. gandarillasii* presentan incrementos en este parámetro en un rango de 2 a 61%.

Por otra parte, *S. boliviense* (subsp. *astleyi*), *S. xdoddsii*, *S. hoopesii*, *S. microdontum* (var. *montepuncoense*), *S. x sucrensis* y *S. violaceimarmoratum* presentan reducciones de 9 a

18% de su superficie potencial de distribución geográfica.

Asumiendo que la plasticidad y la evolución de la especie se mantiene inalterable en el futuro (Lawler *et al.*, 2006), las tendencias de ambos grupos pueden atribuirse a las modificaciones en los regimenes de temperatura y precipitación para el año 2050, ocasionadas por el cambio climático, y la consecuente modificación de hábitats, los cuales se tornan apropiados o desfavorables para la especie, condicionando su crecimiento y reproducción (Shao y Halpin, 1995).

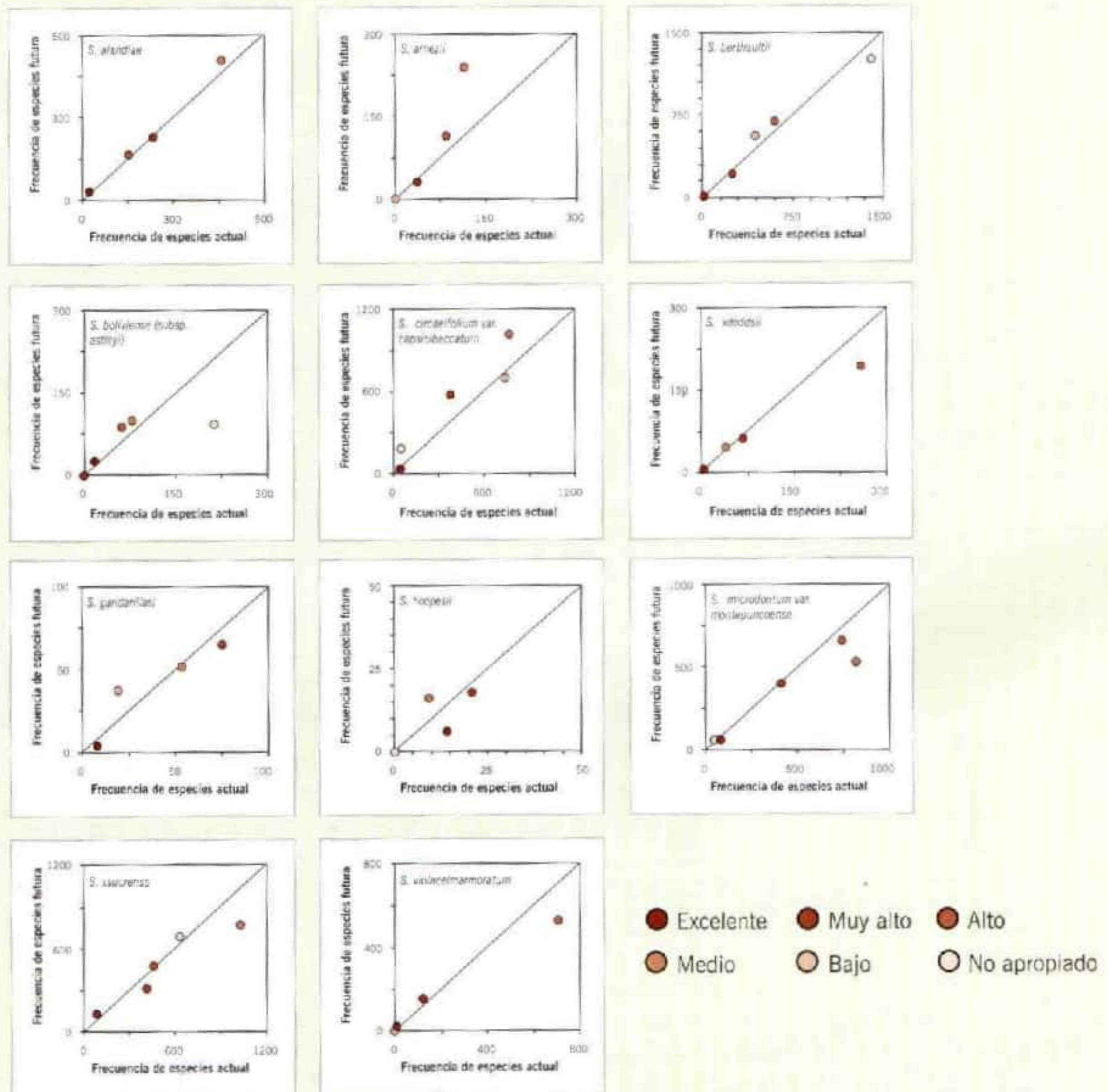


Figura 2. Correlación entre frecuencias de presencia de 11 especies silvestres de papa endémicas de Bolivia, bajo clima actual y futuro.

**Cuadro 3.** Variación en la distribución potencial actual y futura de 11 especies silvestres de papa endémicas de Bolivia (área de cuadrícula = 20 km<sup>2</sup>)

| Especies   | Superficie (km <sup>2</sup> ) |              | Variación          |     |
|--|-------------------------------|--------------|--------------------|-----|
|  | Clima actual                  | Clima futuro | (km <sup>2</sup> ) | (%) |
| 1. <i>S. alandiae</i>                                    | 17,240                        | 18,560       | 1320               | +8  |
| 2. <i>S. arnezii</i>                                     | 4,760                         | 7,640        | 2880               | +61 |
| 3. <i>S. berthaultii</i>                                 | 53,680                        | 54,640       | 960                | +2  |
| 4. <i>S. boliviense</i> (subsp. <i>astleyi</i> )         | 7,340                         | 6,140        | -1200              | -16 |
| 5. <i>S. circaefolium</i> (var. <i>capsicibaccatum</i> ) | 39,960                        | 50,840       | 10,880             | +27 |
| 6. <i>S. xdoddsii</i>                                    | 7,380                         | 6,280        | -1100              | -15 |
| 7. <i>S. gandarillasii</i>                               | 3,100                         | 3,160        | 60                 | +2  |
| 8. <i>S. hoopesii</i>                                    | 880                           | 800          | -80                | -9  |
| 9. <i>S. microdontum</i> (var. <i>montepuncoense</i> )   | 41,820                        | 34,180       | -7640              | -18 |
| 10. <i>S. xsucrense</i>                                  | 52,160                        | 47,000       | -5160              | -10 |
| 11. <i>S. violaceimarmoratum</i>                         | 16,660                        | 13,800       | -2860              | -17 |

Los resultados obtenidos con el modelo, permiten inferir que para el año 2050, el cambio climático tendrá efectos positivos para algunas especies silvestres de papa y negativos para otras, los cuales se traducirán en incrementos o reducciones de las superficies de distribución.

## Conclusiones

- El modelo BIOCLIM es una herramienta útil para la predicción de distribuciones poblacionales de especies vegetales, a partir de un conjunto básico de datos geográficos e historiales climáticos.
- La distribución potencial futura de las especies silvestres de papa endémicas de Bolivia, presenta variaciones importantes con respecto a la actual, debido a las variaciones en los regímenes de precipitación y temperatura ocasionadas por el cambio climático.
- Bajo condiciones climáticas futuras, las especies *S. alandiae*, *S. arnezii*, *S. berthaultii*, *S. circaefolium* (var. *capsicibaccatum*) y *S. gandarillasii*, presentan incrementos en superficie de distribución potencial futura, en un rango de 2 a 61%, con relación a la superficie actual.

- Contrariamente, las especies *S. boliviense* (subsp. *astleyi*), *S. xdoddsii*, *S. hoopesii*, *S. microdontum* (var. *montepuncoense*), *S. xsucrense*, *S. violaceimarmoratum*, presentan reducciones de 9 a 18% de su superficie potencial de distribución geográfica.
- Las predicciones realizadas por el modelo BIOCLIM se basan esencialmente en datos geográficos y climáticos, sin embargo, no toma en cuenta otro tipo de variables como características de suelo o zonas de vegetación, las cuales tienen también un efecto importante en la distribución de especies silvestres.

## Referencias

- Pando, B., J. Giles. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *Geofocus*. 7: 100-119.
- Hawkes, J., J. Hjerting. 1989. *The Potatoes of Bolivia: Their Breeding Value and Evolutionary Relationships*. Oxford University Press. New York, USA. 472 p.
- Hernandez, P., C. Graham, L. Master, D. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29: 773-785.
- Hijmans, R., D. Spooner. 2001. Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany* 88(11): 2101-2112.



Hijmans, R., D. Spooner, A. Salas, L. Guarino, J. de la Cruz. 2002. Atlas of wild potatoes. International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy. 130 p.

Inforesources. 2008. La papa y el cambio climático. IC, CDE, InfoAgrar/SHL. InfoResources Focus 1/08. 16 p.

INE (Instituto Nacional de Estadística). 2005. Atlas de Municipios. La Paz, Bolivia. pp. 10-965.

Lawler, J., D. Whit, R. Nelson, A. Blaustein. 2006. Predicting climate induced range shifts: model differences and model reliability. *Global Change Biology* 12: 1568-1584.

Muñoz, E., J. Hernández, J. Colín. 2004. Georeferenciación de las localidades de colectas biológicas. *Biodiversitas*. Nro. 54: 8-15.

Ochoa, C. 2001. Las papas de Sudamérica: Bolivia. CIP/COSUDE/CID/IFEA. 535 p.

Patiño, F., F. Terrazas, A. Salas, X. Cadima. 2007. Los parientes silvestres del cultivo de papa en Bolivia. *Revista de Agricultura* 59(40): 19-28.

Shao, G., P. Halpin. 1995. Climatic controls of east-tern North American coastal tree and shrub distributions. *Journal of Biogeography*. 22: 1083-1089.

Spooner, D., A. Salas, A. 2006. Structure, Biosystematics, and Genetic Resources. In: Gopal J., S. Paul Khurana (ed). *Handbook production, improvement, and post harvest management*. The Hawhort Press Inc. USA. pp. 1-39.

Spooner, D., R. van den Berg, W. García, M. Ugarte. 1994. Bolivia potato germplasm collection expeditions 1993, 1994: Taxonomy and new germplasm resources. *Euphytica* 79: 137-148.

### Algunas especies silvestres de papa endémicas de Bolivia



*Solanum alandiae*



*Solanum arnezii*



*Solanum berthaultii*



*Solanum boliviense* subsp. *astleyi*



*Solanum circaeifolium*  
var. *capsicibaccatum*



*Solanum gandarillasii*



*Solanum xsucrense*



*Solanum violaceimarmoratum*

© VBRFMA-BIOVERSITY. 2008.  
X. Cadima, A. Mamani, F. Patiño.  
Fundación PROINPA.