

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) 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), 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*.

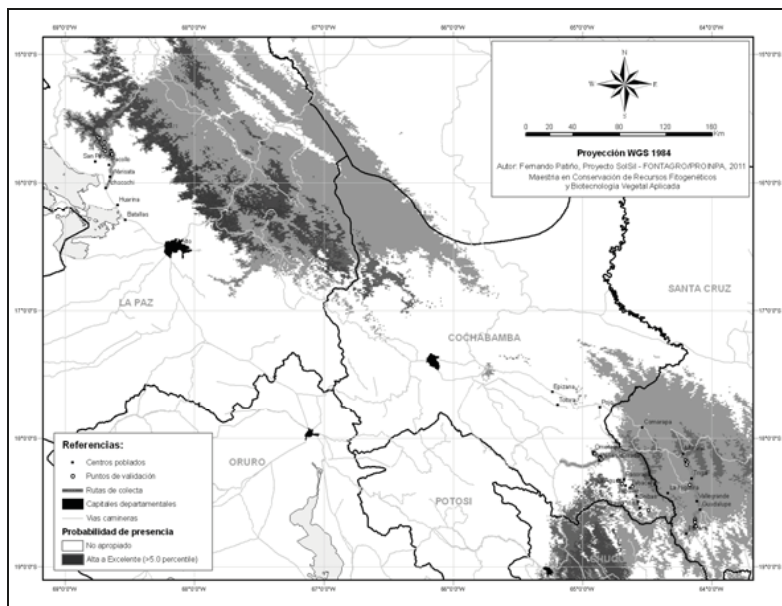
Mapeo de áreas de alta probabilidad de presencia e identificación de rutas de colecta de especies priorizadas de tomate. Con la sobreposición de las grillas generadas y editadas por ambos modelos, para las especies priorizadas para colecta, se obtuvo un mapa inte-

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).

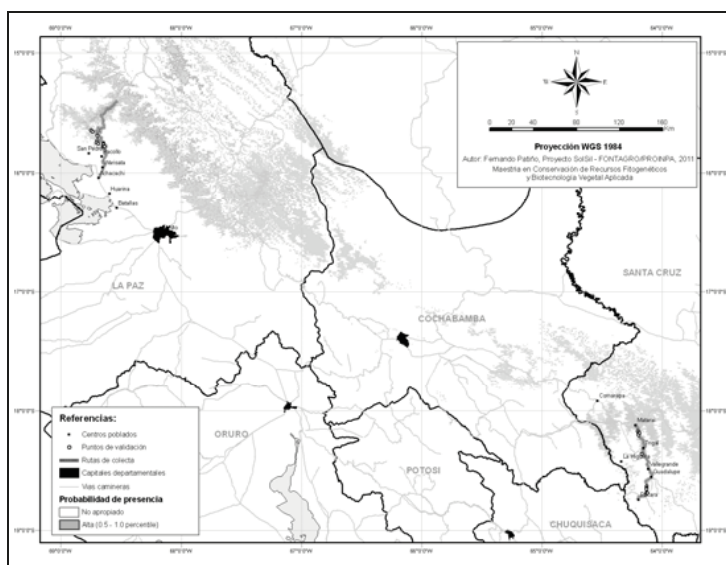
La primera ruta (valles mesotérmicos de Santa Cruz), fue recorrida entre el 23 y 27 de febrero de 2010, entre Mataral, Vallegrande, Pucara y La Higuera, en un rango altitudinal comprendido entre los 1600 y 2900 msnm. En dicho recorrido se verificaron los 10 puntos de verificación seleccionados, sin resultados 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 ²) | | | Superficie estimada MaxEnt (km ²) | | |
|------|---|--|--------------------------------------|--------|---|-----------------------------|--------|
| | | 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 (*Microrhizomys 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., Willemen, 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