

**PREDICCIÓN DEL ÁREA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL DE *Prosopis hassleri* EN LA  
PROVINCIA DE FORMOSA – ARGENTINA.**

**Sebastián M. Kees (1) – Carlos A. Gómez (2)– Mariano A. Vera (4) – Francisco Cardozo (5).  
Diego López (6) – Fernando Muttoni (7) – Valerio Gon (8) – Aníbal. R. Verga (3)**

- (1) Estación Forestal Plaza. INTA. [sebastiankees@hotmail.com](mailto:sebastiankees@hotmail.com)
- (2) Estación Forestal Plaza. INTA. [carlosgomez3536@yahoo.com.ar](mailto:carlosgomez3536@yahoo.com.ar)
- (3) IFFIVE. INTA. [arverga@yahoo.com.ar](mailto:arverga@yahoo.com.ar)
- (4) Estación Forestal Plaza. INTA. [mav\\_air@hotmail.com](mailto:mav_air@hotmail.com)
- (5) INTA. [fcardoza@correo.inta.gov.ar](mailto:fcardoza@correo.inta.gov.ar)
- (6) IFFIVE. INTA. [dlopezlauenstein@yahoo.com.ar](mailto:dlopezlauenstein@yahoo.com.ar)
- (7) INTA. [fermuttoni@gmail.com](mailto:fermuttoni@gmail.com)
- (8) UNaF. [pomevale@yahoo.com.ar](mailto:pomevale@yahoo.com.ar)

**RESUMEN**

El presente estudio tiene por finalidad determinar el área de distribución natural de la especie *Prosopis hassleri* Harms (Algarrobo paraguayo) en la provincia de Formosa, Argentina. El fundamento metodológico de la predicción de la distribución de la especie consistió en aplicar la teoría de modelos de distribución y sistemas de información geográfica (SIG). Para ello se utilizó el modelo BIOCLIM, bajo el software DIVA GIS 7.1.6, 19 variables bioclimáticas procedentes de la base de datos climáticos de Worldclim y 133 puntos de presencia relevados para la especie. Se encontró que la especie abarcaría un área dentro de la provincia de Formosa de aproximadamente 1,9 millones de ha, la cual consiste en una franja de 290 km a lo largo del río Pilcomayo y de 90 km de ancho. La temperatura media anual en esta área oscila entre los 22,3 °C y 23,1 °C y presenta una precipitación media anual entre los 787 mm al oeste y 1388 mm al este. El modelo utilizado demostró ser una herramienta valiosa para la toma de decisiones en programas de manejo de los recursos genéticos y conservación de especies forestales

Palabras clave: área de dispersión, BIOCLIM, *Prosopis hassleri*, Formosa.

## 1.) INTRODUCCIÓN

La pérdida del hábitat, el cambio de la cobertura de la tierra y la sobrexplotación son unas de las principales causas de la extinción a gran escala de la biodiversidad (Cushman, 2006; Leakey y Lewin, 1997). Ante la magnitud e importancia del problema, es claro que los esfuerzos se deben encaminar en la implementación de estrategias para la protección de la biodiversidad, sustentadas en evidencias científicas (Murphy et al. 1990).

Poblaciones bióticas enteras disminuyen y desaparecen debido a la perturbación ejercida sobre el medio por las actividades humanas. Se constituye esto en uno de los conflictos ambientales más graves que debe enfrentar actualmente la humanidad (Wilson, 1988 citado en Lobo, 2000).

Ante esta situación, para promover y mantener la diversidad biológica de los ecosistemas, es necesario previamente conocer las áreas críticas que ocupan las especies involucradas en los procesos de erosión genética y degradación de hábitats.

Actualmente existen muchos métodos de análisis y herramientas estadísticas que permiten resolver de manera aproximada vacíos de conocimiento acerca de las áreas de distribución de especies de interés.

Estos métodos utilizan las condiciones ambientales de donde la especie se encuentra para construir un modelo que permite localizar otras áreas potencialmente convenientes para la especie de estudio (Jarvis et al. 2005a).

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA), está desarrollando en toda el área del parque chaqueño el proyecto específico “Domesticación de Especies Forestales Nativas del Parque Chaqueño (Algarrobo)”; su objetivo es generar el conocimiento y la tecnología necesarios para introducir exitosamente el algarrobo al cultivo en sistemas de producción de madera y silvopastoriles. Al mismo tiempo el proyecto busca mantener o aumentar la diversidad genética de sus bosques para recuperar ecosistemas boscosos degradados y sostener el recurso biológico a largo plazo. (PNFOR – 044341, 2009).

Distintas especies del género *Prosopis* (algarrobos) son objeto de explotación forestal para la producción de madera y dan sustento a una actividad productiva importante para áreas marginales del país. Por otro lado el algarrobo representa un recurso estratégico como especie proveedora de

forraje y estabilizadora del ecosistema, estructurando sistemas productivos silvopastoriles en el bosque nativo Chaqueño y en el Espinal. El ritmo actual de explotación del algarrobo para la provisión de madera es insostenible a mediano plazo y ocasiona un deterioro importante de los bosques nativos remanentes.

En este sentido Verga (2009), asume que en el Parque Chaqueño y Espinal Norte se están operando cambios muy significativos que impactan profundamente sobre la futura evolución de los ecosistemas que lo integran. Estos cambios cuantitativos y cualitativos de los procesos históricos de degradación de los recursos naturales de la región pueden ser atribuidos a la interacción de múltiples causas: cambio de uso del suelo, el cambio climático, el desarrollo tecnológico de los cultivos agrícolas, el aumento de la presión ganadera, la creciente demanda mundial de alimentos, etc. Independientemente de las causas, este “cúmulo de efectos antrópicos” tiene un fuerte impacto no sólo sobre los recursos naturales de la región, sino también sobre la sustentabilidad de las actividades productivas que allí se desarrollan. Esta realidad obliga a replantear el concepto de domesticación incluyendo a la conservación dinámica como parte indisoluble del manejo de los recursos genéticos de las especies nativas orientado hacia el uso. En este contexto, los conocimientos básicos sobre las especies clave de la región pasan a ser estratégicos (Verga, A. 2009).

La especie *Prosopis hassleri* constituye un recurso biológico de importancia estratégica para la región. Se trata de un algarrobo adaptado a un ambiente subtropical. En un futuro desarrollo de estos recursos esta especie se complementa a nivel regional con *Prosopis alba*, pudiéndose constituir ambas en importantes herramientas para la producción de madera de calidad, como integrantes de sistemas productivos silvopastoriles y para la recuperación ecosistémica.

Este trabajo contribuye al ordenamiento de los recursos genéticos de *Prosopis hassleri* aportando conocimientos básicos sobre el área de distribución que ocupa en la provincia de Formosa

## 2.) **OBJETIVO**

Conocer el área potencial de dispersión de la especie *P. hassleri* en la provincia de Formosa, Argentina.

### 3.) MATERIALES Y METODOS

El fundamento metodológico de la predicción de la distribución potencial de la especie *Prosopis hassleri* en la provincia de Formosa, consiste en aplicar la teoría de modelos de distribución y sistemas de información geográfica (SIG).

Para lograr el objetivo específico se cumplieron las siguientes etapas:

⇒ **Etapa 1:** obtención de registros de coordenadas o puntos de presencia de la especie.

La primera etapa consistió en obtener los puntos de presencia de la especie en la provincia de Formosa. Los registros de presencia pertenecen a la base de datos del proyecto “domesticación de especies nativas del parque chaqueño”, a los cuales se le adicionaron otros provenientes de recorridos a terreno en campañas de marcación durante los años 2008 y 2010. La lista de los ejemplares con su correspondiente posición geográfica se presenta en el anexo I. la metodología de muestreo consistió en paradas cada 7 a 10 km de distancia a fin de caracterizar la variación de la especie en el terreno teniendo en cuenta la resolución espacial de la base de datos climáticos a emplear. Las recorridos a campo se realizaron en forma paralela al Río Pilcomayo desde el extremo Este de la provincia, explorando hacia el oeste hasta alcanzar áreas donde las poblaciones de *Prosopis sp.* no se correspondían con las características morfológicas de *P. hassleri* (probablemente áreas híbridas con *P. alba*). El mismo criterio se utilizó para las recorridos en sentido N-S. Se partió de las inmediaciones del Río Pilcomayo y se exploró hacia el sur hasta encontrar poblaciones de morfología intermedia con *Prosopis alba*.

Como información anexa se documentó fotográficamente cada ejemplar georreferenciado y se tomó una muestra de material de herbario, los cuales servirán de base para estudios posteriores.

⇒ **Etapa 2:** ejecución del modelo.

Se utilizó *Bioclim* (incluido en DIVA GIS 7.1.6) como modelo de predicción, ejecutado a partir de,:

- Las coordenadas geográficas de los puntos de registro de la especie *Prosopis hassleri*.
- Las variables climáticas.

Los modelos predictivos determinan la relación entre los factores climáticos y los registros de presencia de la especie, para mapear su distribución espacial potencial (Guisan y Zimmermann, 2000). Se asume que el clima en los puntos de observación de una especie representa la gama ambiental del organismo. El clima en estos puntos se utiliza como el sistema de calibración para computar un modelo de la probabilidad de presencia en base al clima (Jarvis et al. 2005).

Por medio de un análisis de perfiles bioclimáticos, BIOCLIM determina teóricamente los límites probables de la distribución de la especie (Lindernmayer et al., 1991). Es decir que define los sitios con condiciones climáticas similares (homoclimas) (Villaseñor y Tellez-Valdes, 2004). BIOCLIM computa los parámetros bioclimáticos para todos los sitios de registro. Con ellos genera un perfil bioclimático que sintetiza las condiciones climáticas de los sitios analizados y los compara con los atributos climáticos del área de estudio (Fischer et al., 2001). Esta comparación permite determinar los sitios con clima adecuado (dominio), en los cuales pudiera encontrarse la especie de estudio (<http://cres.anu.edu.au/outputs/anuclim/doc/bioclim.html>).

El dominio genera dos áreas potenciales de distribución, central y extenso. El dominio central está definido por un conjunto de celdas que registran homoclimas para la especie dentro de valores porcentuales que caen en el intervalo de 5-95% del perfil bioclimático. Estas celdas se consideran como un clima conveniente para la especie. Los valores menores de 5% y mayores de 95% se consideran como celdas con un clima no conveniente para la especie, corresponden a valores extremos del clima. El dominio extenso incluye entonces celdas que caen dentro de valores porcentuales que van de 0-100% del perfil (Nix, 1986; Lindernmayer et al. 1991; Villaseñor y Tellez-Valdes, 2004).

Los datos de clima se obtuvieron a partir de la base de datos de WorldClim (<http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>), la cual se presenta en formato raster. Los datos de Worldclim fueron generados por interpolación de datos promedios mensuales de más de 46.000 estaciones meteorológicas (Hijmans et al. 2004 citado en Collet, 2005).

Un raster es un archivo utilizado en los SIG que presenta un área espacial dividida en celdas (o píxel) regulares (cuadrícula). Cada celda está asociada al valor de un atributo, como por ejemplo la altitud, que corresponde al promedio del valor de este atributo sobre toda la superficie de la celda considerada. Un píxel es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital, como el raster. Así, el tamaño del píxel define la resolución del raster. Cuanto más pequeño es el píxel,

mayor es la resolución. Para este estudio trabajó con una resolución de 2,5 minutos (aproximadamente 4 km).

Las variables Bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de la temperatura y de la precipitación, para generar variables biológicamente más significativas. Representan así las tendencias anuales (ejemplo: promedio de temperatura anual, precipitación anual), la estacionalidad (ejemplo: rango anual de temperatura y precipitación) y los factores ambientales limitantes (ejemplo, temperatura del mes más frío y más cálido, y precipitación de los cuartos más húmedos y secos). Un cuarto es un período de tres meses (1/4 del año) (Hijmans et al. 2005).

Para el análisis se utilizaron las siguientes variables climáticas:

- Temperatura media anual (°C)
- Oscilación diurna de la temperatura (°C)
- Isothermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
- Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
- Temperatura máxima media del periodo más cálido (°C)
- Temperatura mínima media del periodo más frío (°C)
- Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)
- Temperatura media del cuatrimestre más lluvioso (°C)
- Temperatura media del cuatrimestre más seco (°C)
- Temperatura media del cuatrimestre más cálido (°C)
- Temperatura media del cuatrimestre más frío (°C)
- Precipitación anual (mm)
- Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
- Precipitación del periodo más seco (mm)
- Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
- Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
- Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
- Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
- Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

⇒ **Etapa 3:** evaluación del modelo.

Para la evaluación del modelo obtenido se emplearon el estadístico Kappa de Cohen y el área bajo la curva de la función ROC (Receiver Operating Characteristic) (López, G.I, 2001). Esta evaluación consiste en una prueba estadística para saber cómo está funcionando el modelo en relación a la exactitud de la predicción con la realidad. De esta manera permitirá determinar la calidad de la predicción del área de distribución de *Prosopis hassleri* en la provincia de Formosa.

⇒ **Etapa 4:** obtención de las capas correspondientes al área de dispersión en la provincia de Formosa.

En esta etapa se utilizó el paquete ArcGis 9.x para la obtención de las capas correspondientes al área de dispersión para la provincia de Formosa.

#### 4.) **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

##### **4.1) Puntos de presencia:**

Se georreferenciaron en total 133 ejemplares cuyas características concuerdan con las descritas en la bibliografía para la especie (Burkart, A. 1940. Materiales para una monografía del género *Prosopis* (Leguminosae). Darwiniana Tomo 4(1) 57-128.

A continuación se muestra en la figura 1 la localización de los puntos de presencia registrados en la provincia de Formosa.

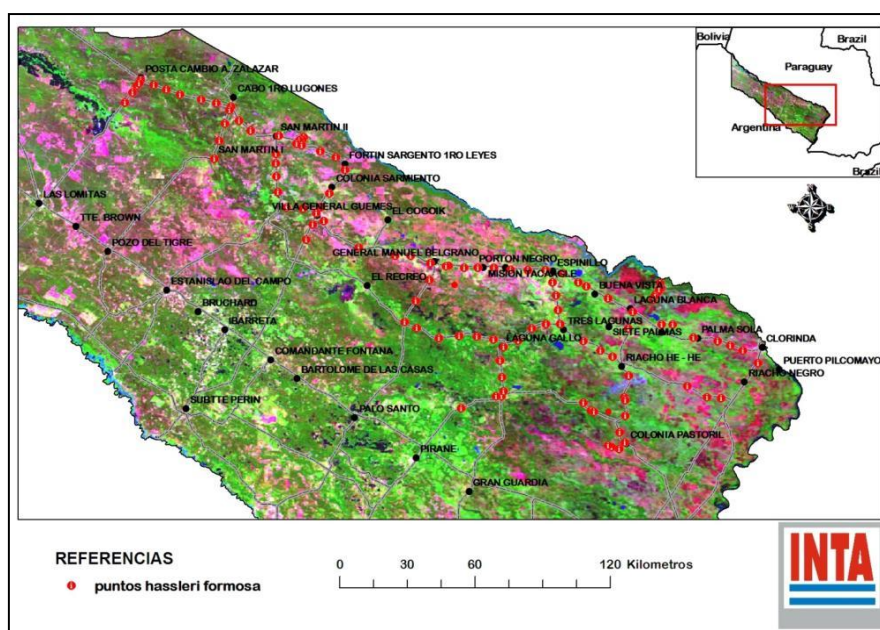


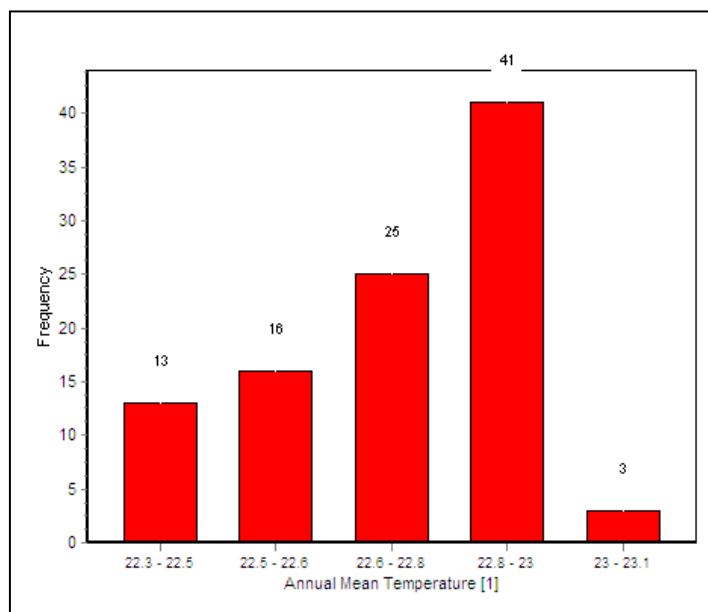
Figura 1: ubicación de puntos de presencia de *Prosopis hassleri* utilizados.

La franja recorrida abarca aproximadamente 280 km en dirección este – oeste y 90 km en dirección norte – sur.

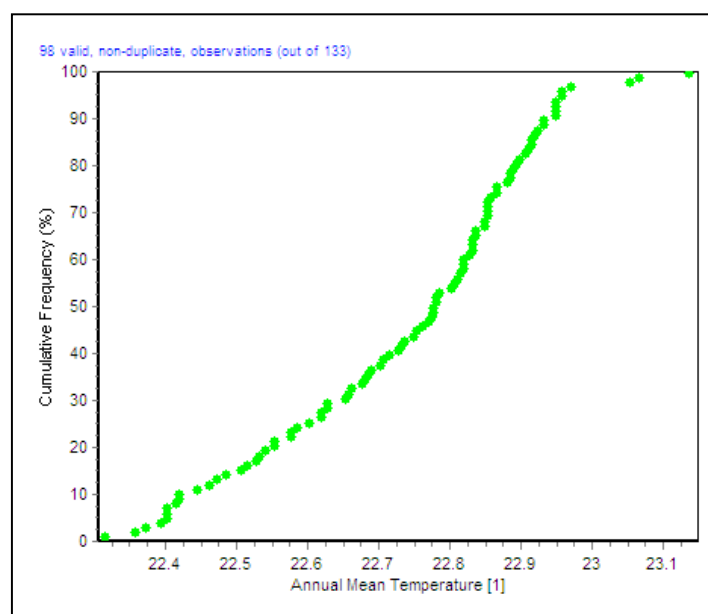
#### **4.2) Variables bioclimáticas de interés**

Para el presente estudio sólo se analiza la dispersión de los puntos en función a la temperatura media anual y la precipitación media anual.

a) **Temperatura media anual:** a continuación se presenta la distribución de frecuencias de los puntos de presencia en función a la temperatura media anual. (figuras 2a y 2b).



2a. histograma de frecuencias

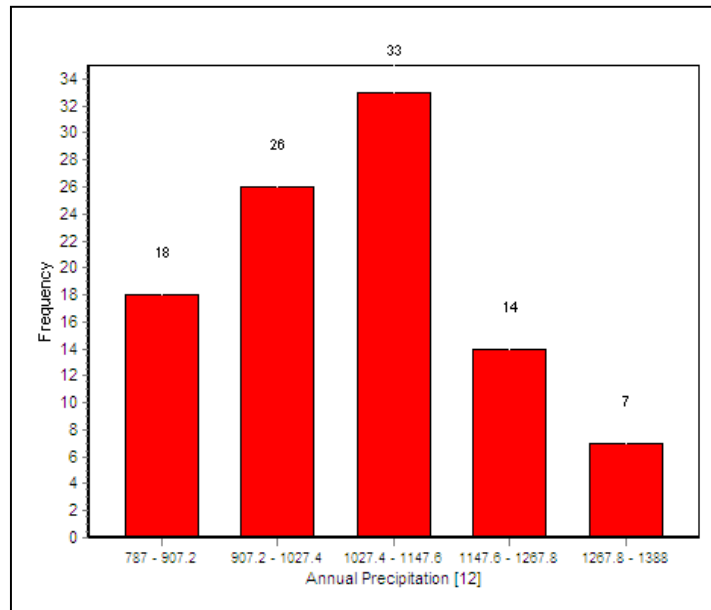


2b. frecuencias acumuladas

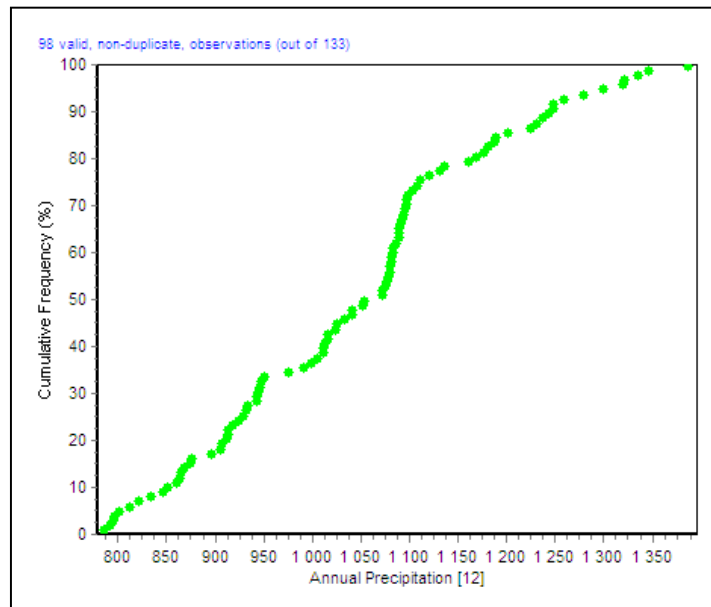


Como podemos observar la especie abarca un rango de temperatura de aproximadamente 0,8 °C (22,3 °C a 23,1 °C), este valor al ser tan pequeño podría indicar que la variable limitante en el área de dispersión estaría relacionada a la temperatura. Alrededor del 67% de los ejemplares georreferenciados se encuentran a su vez entre los 22,6 °C y los 23 °C.

b) **Precipitación Media Anual:** seguidamente se presenta la distribución de los puntos de presencia teniendo en cuenta la precipitación media anual. (figuras 3a y 3b).



3a. histograma de frecuencias



3b. frecuencias acumuladas

Teniendo en cuenta la precipitación el rango de distribución de la especie es bastante amplio, alrededor de 601 mm anuales en promedio, por lo cual podemos inferir que esta variable no

constituye una limitante para la dispersión de la especie. Alrededor del 80% de los ejemplares se encuentran entre los 787 mm a los 1148 mm de precipitación anual.

#### **4.3) Área de distribución potencial:**

A continuación se presenta el área de dispersión potencial de *Prosopis hassleri* obtenido a partir de los puntos de presencia y la base de datos climática.

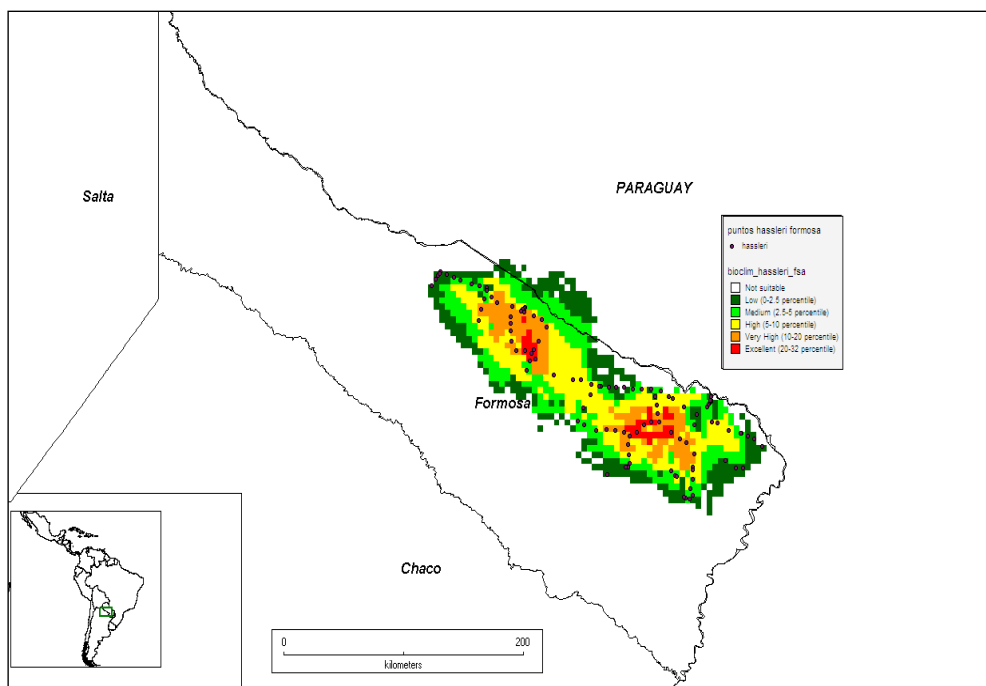


Figura 4: área de dispersión potencial de *Prosopis hassleri*.

Como podemos ver, en base a la información utilizada el área de dispersión potencial abarca gran parte del centro - norte de la provincia de Formosa y una porción limítrofe de Paraguay.

#### **4.4) Evaluación del modelo**

La evaluación dió como resultados un valor ROC = 0,961 y un valor Kappa = 0,913 (figuras 5a y 5b). El diagrama ROC identifica el punto en la curva en la cual la convergencia de la sensibilidad y de la especificidad se maximiza, con un valor de 0,961. El valor de Kappa 0,913 corresponde al límite entre probabilidad de presencia y la probabilidad de ausencia.

Los valores de probabilidad de exactitud van de 0 a 1, indicando 0 baja probabilidad y 1 alta probabilidad de exactitud (Swets, 1988). Así, en este caso, los valores indican un buen

funcionamiento y una alta probabilidad de obtener positivos y negativos verdaderos de presencia/ausencia en las áreas predichas por el modelo.

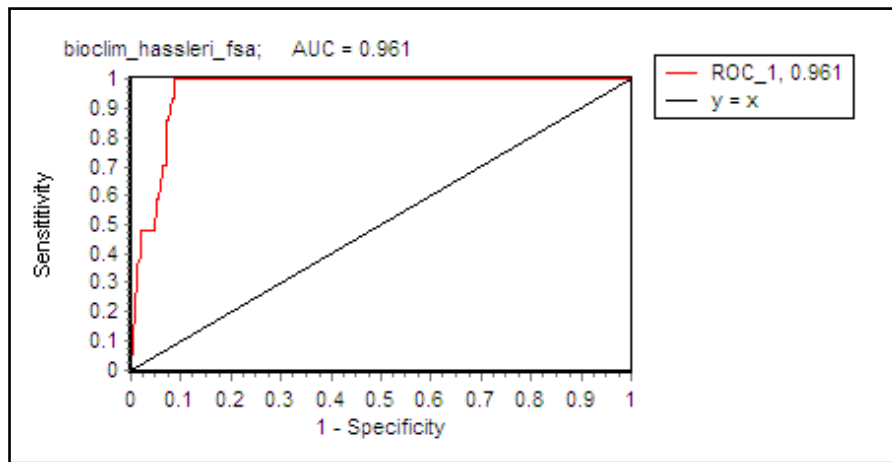


Figura 5a. Diagrama curva ROC.

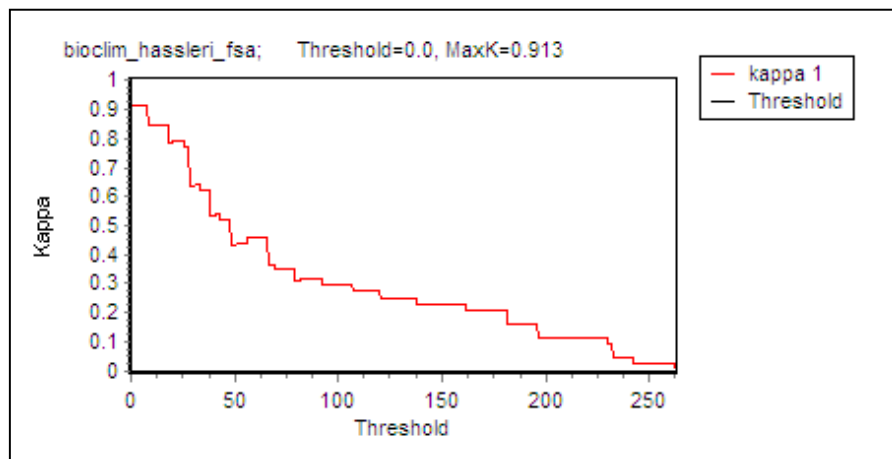


Figura 5b. Diagrama Kappa de Cohen.

#### **4.5) Capa correspondiente a la Provincia de Formosa:**

Se exportó la grilla generada por *Bioclim* a formato ASCCII, para su posterior tratamiento bajo Spatial Analyst del ArcGis 9.x, luego se generaron las isolíneas correspondientes a la probabilidad de ocurrencia de la especie, posteriormente se tomó la isolínea que bordea el área de dispersión, se convirtió a polígono para poder recortar con la capa correspondiente a la provincia de Formosa y obtener la superficie del área de distribución natural de la especie. (Figuras 6a y 6b).

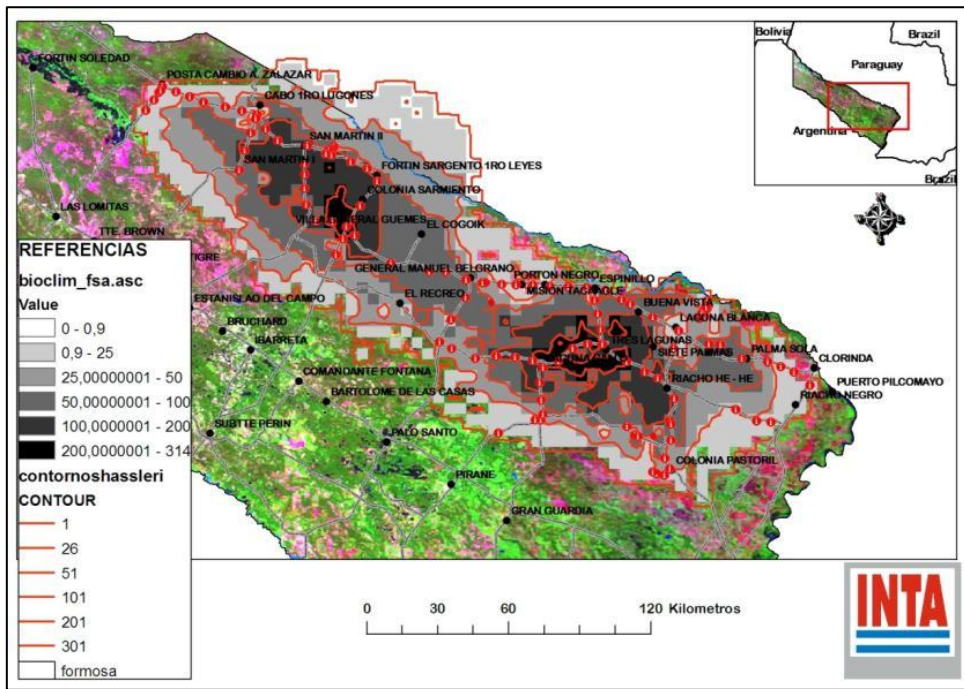


Figura 5a. área de dispersión potencial de *Prosopis hassleri*.

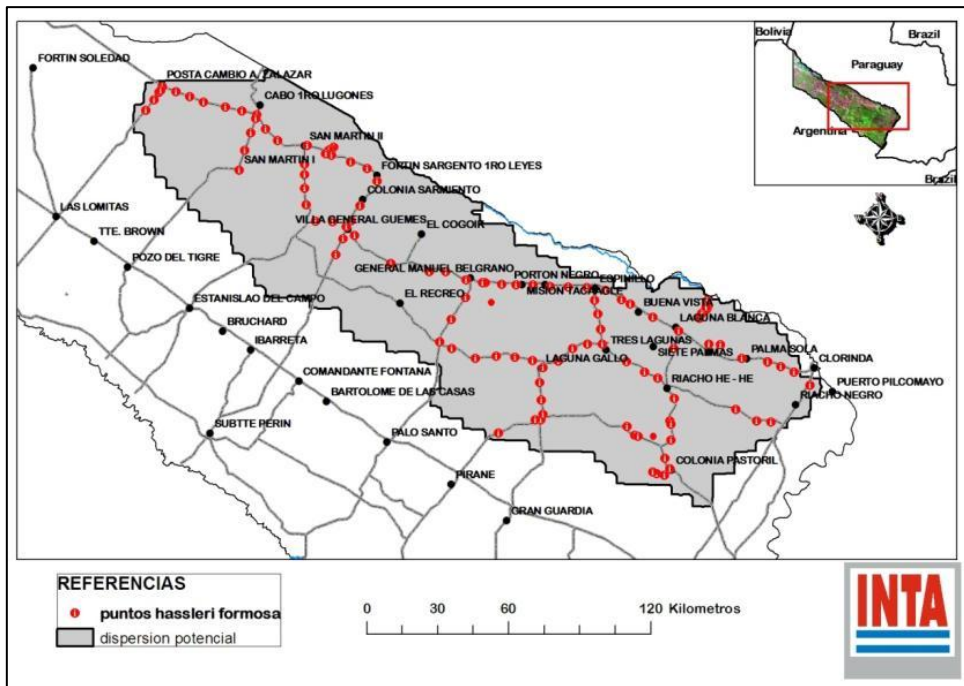


Figura 5b. Área de distribución potencial de *Prosopis hassleri* en la provincia de Formosa.

La superficie estimada que abarca el área de dispersión potencial es de 1,93 millones de has, es decir aproximadamente el 27% de superficie provincial.

## 5.) CONCLUSIONES

Si bien el área de recorrida y levantamiento de puntos corresponde solo a una pequeña parte de la zona donde la especie se halla presente en Latinoamérica, las conclusiones que podemos obtener para la provincia de Formosa pueden considerarse validas.

A manera de conclusión podemos enumerar las siguientes:

- El modelo utilizado demostró ser una herramienta valiosa para la toma de decisiones en programas de manejo de los recursos genéticos y conservación de especies forestales.
- La mayoría de variables que actúan como limitantes en el area de dispersión de la especie están relacionadas con la temperatura. Por lo tanto sería aconsejable continuar con estudios relativos a esta temática.
- El área de dispersión potencial de la especie en la provincia de Formosa es de 1,93 millones de has.

## 6.) BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Burkart, A. 1940. Materiales para una monografía del género *Prosopis* (Leguminosae). Darwiniana Tomo 4(1) 57-128.
- Collet, L. (2005). Impact of environmental factors to manage coffee cup quality. CIAT. 59 p.
- Cushman, S.A., 2006. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation*, 128(2): 231-240.
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., Nix, H. A., Stein J. L. Y Stein, J. A. (2001). Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography* 28: 293-304.
- Guisan, A., and Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model* 135, 147-186.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*. *Int. J. Climatol.* 25: 1965-1978.
- Hijmans, R. J., and Spooner, D. (2001). Geographic distribution of wild potato species. *Am. J. Bot.* 88, 2101-2112.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L., Parra, P.G., Jones, P and Jarvis, A., (2004). The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces. Version 1.3. Available at <http://biogeo.berkeley.edu/>

- INTA. (2009). Proyecto Específico: Domesticación de especies forestales Nativas del Parque Chaqueño. PNFOR - 044341. Programa nacional Forestales.
- Jarvis, A., K. Williams, D. Williams, L. Guarino, P.J. Caballero., Mottram, G. (2005) b. Use of GIS for optimizing a collecting mission for a rare wild pepper (*Capsicum flexuosum* Sendtn.) in Paraguay. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52: 671-682.
- Jarvis, A., Yeaman, S., Guarino, L., Tohme, J. (2005)<sup>a</sup>. The role of geographic analysis in locating, understanding and using plant genetic diversity. *Methods in enzymology*, vol. 395: 279-298.
- Lindenmayer, D. B., Nix, H. A., McMahon, J. P., Hutchinson, M., Tanton, F. T. (1991). The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography* 18: 371-383.
- Lobo, J. M. (1999) Individualismo y adaptación espacial: un nuevo enfoque para explicar la distribución geográfica de las especies. *Boletín de la Sociedad de Entomología Aragonesa*, 26: 561-572.
- Lobo, J. M. (2000). Es posible predecir la distribución geográfica de las especies basándonos en variables ambientales?. <http://entomologia.rediris.es/pribes>.
- Lobo, J. M. y Hortal, J. 2003. Modelos predictivos: Un atajo para describir la distribución de la diversidad biológica. *Ecosistemas* 2003/1 (<http://www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion3.htm>).
- López, G. I., Pita, S. (2001). Curvas ROC. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña (España) *Cad Aten Primaria* 1998; 5 (4): 229-235.
- Murphy, D. D., Freas, K. E. & Weiss, S. B. (1990). An environment metapopulation approach to population viability analysis for a threatened invertebrate. *Conservation Biology*, 4, 41-51.
- Nix, H. A. (1986). A biogeographic analysis of the Australian elapid snakes. In: R. Longmore (ed.) *Atlas of elapid snakes*. Australian Flora and Fauna Series No. 7, pp. 4-15.
- Swets, J.A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285 – 1293
- Verga, A. 2009. Comunicación personal.
- Villaseñor, J. L., Tellez-Valdes, O. (2004). Distribución potencial del genero *Jefea* (Asteracea) en Mexico. *Serie Botánica* 75(2): 205-220.
- Wilson, E.O. (1988). The current state of biological diversity. En Wilson, E.O. (ed.), págs. 3-18. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington D.C.