

## ZONIFICACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA MORINGA (*MORINGA OLEIFERA*) EN ARGENTINA PARA PRODUCIR BIODIESEL Y BIETANOL

S.L. Falasca<sup>1</sup>, M.A. Bernabé<sup>2</sup>

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) Instituto Clima y Agua. INTA. Las Cabañas y Los Reseros S/N. CP1712. Castelar. Pcia Buenos Aires. [www.intacya.org/](http://www.intacya.org/) TE: 011-4621-1684  
Programa de Estudios sobre el Medioambiente y la Producción Agropecuaria.  
CINEA. Facultad de Ciencias Humanas. UNICEN. Pinto 399. CP. 7000. Tandil, pcia Buenos Aires.  
e-mail: sfalasca@conicet.gov.ar

### RESUMEN:

La moringa (*Moringa oleifera*) sirve como materia prima para producir biodiesel a partir de sus semillas y bioetanol a partir de sus hojas. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar el clima del centro de origen de la especie y ubicar en la Argentina su agroclima, considerando las diferentes variables climáticas que limitan el desarrollo de los biotipos existentes en el mundo, citados por la bibliografía.

Luego se calcularon los índices agroclimáticos a partir de los datos climáticos extraídos de las Estadísticas Climáticas editadas por el Servicio Meteorológico Nacional, para el período 1961-2000. Se elaboraron los mapas correspondientes a cada uno de los índices agroclimáticos y el mapa resultante de la superposición fue el que definió las regiones agroclimáticas para la especie en Argentina. Dicho mapa muestra las áreas óptimas, apropiadas, apropiadas con limitaciones, marginales y no aptas para la *Moringa*.

**Palabras clave:** *Moringa oleifera*, biodiesel, bioetanol, Argentina, agroclima.

### INTRODUCCION

*Moringa oleifera* es un árbol siempreverde originario del sur del Himalaya, desde el NE de Pakistán hasta el N de Bengala del oeste, en la India (Nasir y Ali, 1972; Ramachandran et al., 1980; Troup, 1921). Ha sido introducido y se ha naturalizado en otras partes de India, Bangladesh, Afganistán, Pakistán, Sri Lanka, el SE asiático, Asia occidental, la Península Arábiga, África del E y del W, Madagascar, el sur de la Florida, las Islas del Caribe y América del Sur, de México a Perú, Paraguay y Brasil (Little et al., 1964; Ramachandran et al., 1980).

Se trata de un árbol perenne pero poco longevo, que a lo sumo puede vivir 20 años, aunque se han obtenido variedades en la India que son anuales y permiten el cultivo mecanizado. Es una especie de muy rápido crecimiento. Aporta una elevada cantidad de nutrientes al suelo, además de protegerlo de factores externos como la erosión, la desecación y las altas temperaturas.

En América Central fue introducido como planta ornamental y como cerca viva. Los romanos, los griegos y los egipcios extrajeron aceite comestible de las semillas y lo usaron para perfumes y lociones. En el Siglo XIX, países caribeños comienzan a exportar el aceite de *Moringa* hacia Europa para la elaboración de perfumes y de lubricantes para maquinaria.

Alcanza de 7-12 m de altura y de 20-40 cm de diámetro, con una copa abierta tipo paraguas y fuste recto. Las hojas son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos con 5 pares de éstos acomodados sobre el peciolo principal y un folíolo en la parte terminal. Las hojas son alternas tripinnadas con una longitud de 30-70 cm (Foidl et al, 2003).

Las flores son bisexuales con pétalos blancos y estambres amarillos. En el N de India y por ende, en otras regiones atemperadas florece una sola vez al año (entre abril y junio). Pero puede florecer dos veces al año, como en el sur de India o durante todo el año en lugares donde no hay diferenciación de estaciones ni cambios de temperatura y precipitación a lo largo del año, como sucede en los países caribeños. Las flores son polinizadas por abejas, otros insectos y algunas aves (Jothi et al., 1990; Morton, 1991).

Las frutas son cápsulas de color pardo lineares y de 3 lados con surcos longitudinales de 20 a 45 cm de largo, aunque a veces de 120 cm y de 2 a 2.5 cm de ancho (Little et al., 1964). Las semillas son de color pardo oscuro, globulares de 1 cm de diámetro con alas con una consistencia papirácea (Ramachandran et al., 1980). Las vainas maduras permanecen en el árbol por varios meses antes de partirse y de liberar las semillas, las cuales son dispersadas por el viento, agua y probablemente por animales (Parrota, 1993).

<sup>1</sup> Investigador Adjunto CONICET y Director del PREMAPA. (CINEA)

<sup>2</sup> Jefe de Trabajos Prácticos e Investigadora del PREMAPA. (CINEA).

### *Posibilidades de uso de la moringa*

Las hojas tiernas y las flores se consumen, crudas o cocidas, ya que son ricas en proteínas, minerales, beta carotenos, rivotflavinas y vitamina C (Bodner y Gereau, 1988; Dahot, 1988; FAO, 1982; Nautiyal y Venhataraman, 1987; Ramachandran et al., 1980). La fruta verde (no madura), flores y hojas contienen del 5-10% de proteína (Szolnoki, 1985).

Las hojas se pueden emplear para obtener biogás. Las podas son necesarias para estimular la producción de hojas frescas, incluso la *Moringa oleifera* admite que se le elimine toda la copa por completo. La leña es un combustible aceptable, ya que proporciona 4600 kcal/kg.

Las semillas tienen gusto a maní al freírlas y se consumen también crudas (Ramachandran et al., 1980). Las raíces poseen un sabor picante y se emplean como aderezo después de peladas, secadas y colocadas en vinagre. La corteza de las raíces se debe eliminar porque contiene "moringina", una sustancia tóxica del mismo grupo que la efedrina (Morton, 1991).

La semilla contiene de 31-47% de aceite. Estudios realizados en Brasil, luego de la extracción del aceite de la semilla con hexano, arrojó un índice de acidez de 7.95 mg KOH/g. Dicho aceite contiene un 7% de ácido palmítico, 2% de palmitoleico, 4% de esteárico, 78% de oleico, 1% de linoleico, 4% de araquídico, y 4% de behénico (Serra et al., 2007).

Ese alto tenor de ácido oleico torna al aceite adecuado para obtención de biodiesel, con un bajo tenor de insaturación. Ello indica su buena calidad por su estabilidad a la oxidación, facilitando el transporte y almacenamiento.

El aceite además, puede ser empleado para consumo humano, fabricación de jabones, cosméticos, como lubricante de relojes, etc (Ramachandran et al., 1980). La torta se puede emplear como fertilizante ya que es rica en nitrógeno.

El rendimiento obtenido por hectárea es de 3000 kg de semillas equivalente a 900 kg de aceite por hectárea, comparable con la soja que también rinde 3000 kg de semillas/ha pero sólo el 20% de aceite (Mohammed et al., 2003).

La importancia del uso como forrajera se debe a sus buenas características nutricionales y a su alto rendimiento en producción de biomasa fresca. Sus hojas y tallos presentan un 23% y 9% de proteína cruda, respectivamente mientras que la digestibilidad encontrada fue del 79% y 57%, respectivamente (Foidl et al., 2003).

Sin embargo, el árbol se valora fundamentalmente por sus vainas tiernas y comestibles, de gusto similar al espárrago. En la India se exportan frescas, refrigeradas y enlatadas a lugares donde existen comunidades hindúes (Folkard y Sutherland, 1996).

En Argentina hubo árboles aislados en Misiones, Chaco, y hace pocos años como emprendimiento agroindustrial en Catamarca, y desde 2003 en Anta Muerta, Departamento de Orán, Salta. Es la única especie arbórea exótica declarada de interés nacional por la Cámara de Diputados de la Nación en 2002.

### *Necesidades bioclimáticas*

En su hábitat natural las temperaturas medias anuales presentan grandes fluctuaciones. Durante los meses más fríos soporta temperaturas entre  $-1^{\circ}\text{C}$  y  $3^{\circ}\text{C}$  mientras que en los meses más cálidos de  $38^{\circ}\text{C}$  a  $48^{\circ}\text{C}$  (Troup, 1921).

La precipitación anual en esa región oscila entre 750 mm a 2200 mm (Nautiyal y Venhataraman, 1987; Troup, 1921). Es muy resistente a la sequía y se cultiva en regiones áridas y semiáridas de la India, Paquistán, Afganistán, Arabia Saudita y África del E donde las precipitaciones alcanzan sólo los 300 mm anuales, donde muy probablemente incluyan algún tipo de riego artificial (Both y Wickens, 1988; Ramachandran et al., 1980).

Otros reportes indican que crece con precipitaciones anuales de 480 mm a 4030 mm y una temperatura media anual de  $18.0^{\circ}\text{C}$  -  $28.5^{\circ}\text{C}$  (Duke, 1983). Si bien es resistente a la sequía tiene tendencia a perder las hojas en períodos de estrés hídrico. Normalmente florece cuando el árbol ha perdido sus hojas.

El objetivo del presente trabajo fue delimitar las áreas agroclimáticas para el cultivo en Argentina de *Moringa oleifera* considerando el clima de origen de la especie y los límites térmicos e hídricos que aporta la literatura internacional.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Primeramente se estudió el clima del área de origen. Esta área está comprendida entre los  $25^{\circ}$  a los  $35^{\circ}$  de Latitud Norte, por lo que podría suponerse en una primera aproximación, que debería llegar a esas latitudes en el Hemisferio Sur.

Esa subregión del sur del Himalaya presenta un clima "Cfa" según la Clasificación Climática de Köppen (1918). Köppen, cuando propuso su clasificación climática tuvo en cuenta tanto las variaciones de temperatura y humedad como las medias de los meses más cálidos o fríos, y lo más importante, es que hizo hincapié en las consecuencias bioclimáticas.

La letra *C*: significa que la temperatura media del mes más frío es menor de  $18^{\circ}\text{C}$  y superior a  $-3^{\circ}\text{C}$  y al menos un mes la temperatura media es superior a  $10^{\circ}\text{C}$ ; la letra *f*: significa Húmedo sin estación seca y *a*: alude que la temperatura media del mes más cálido supera los  $22^{\circ}\text{C}$ . O sea que esa sigla corresponde a un clima templado con verano cálido y con precipitaciones regulares durante todo el año.

Köppen tomó esos límites porque la isoterma de  $10^{\circ}\text{C}$  en verano se corresponde con el límite de crecimiento de los árboles; la isoterma de  $18^{\circ}\text{C}$  en invierno es crítica para las plantas tropicales y la isoterma de  $-3^{\circ}\text{C}$  indica el límite hacia el ecuador del permafrost.

Para buscar una probable zonificación en Argentina, se emplearon las Estadísticas Climáticas editadas por el Servicio Meteorológico Nacional para el período 1961-1990 (SMN, 1996) y los datos cedidos gentilmente por la misma institución con fines de investigación para el período 1991-2000.

Para buscar un rango más amplio de adaptación, se tomaron otros índices bioclimáticos aportados por la bibliografía (Both y Wickens, 1988; Ramachandran et al., 1980; Nautiyal y Venhataraman, 1987; Troup, 1921) ya que la *Moringa oleifera* se ha asilvestrado a otras regiones generando diferentes biotipos locales.

Para ello se volcaron para las 118 estaciones meteorológicas y agrometeorológicas presentes en la República Argentina las siguientes variables bioclimáticas: temperatura media invierno superior a 18°C, temperatura media de enero superior a 22°C y la probabilidad de ocurrencia de heladas invernales con diferentes niveles de intensidad: temperaturas superiores o iguales a 0°C, superiores o iguales a -4°C e inferiores a -4°C, con una recurrencia de una vez cada 5 años, que fueron tomados como límites térmicos y la precipitación media anual superior a los 300 mm y superior a los 500 mm, que se consideraron como límites hídricos.

Se tomó la temperatura de -4°C, como intensidad de helada invernal para fijar el límite de tolerancia a bajas temperaturas. Temperaturas más bajas provocarán serios daños, definiendo como “zona óptima” a aquella que se halla libre de heladas; “apropiada” a aquella zona con temperaturas invernales iguales o superiores a -4°C y “no apta” donde se registran temperaturas inferiores a -4°C durante el invierno, con una recurrencia de una vez cada 5 años (20% de probabilidad).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se cartografiaron las isohietas de 500 mm, y más desplazada hacia el oeste, la de 300 mm, ambas tomadas como límites hídricos, (Both y Wickens, 1988; Ramachandran et al., 1980) para delimitar el cultivo en condiciones de secano y con riego, respectivamente.

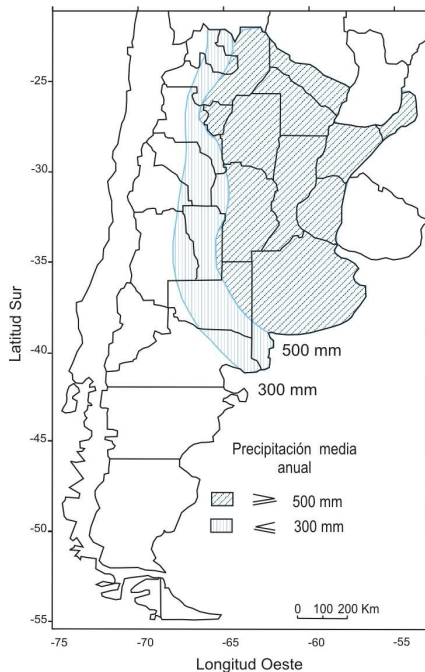


Figura 1. Precipitaciones anuales

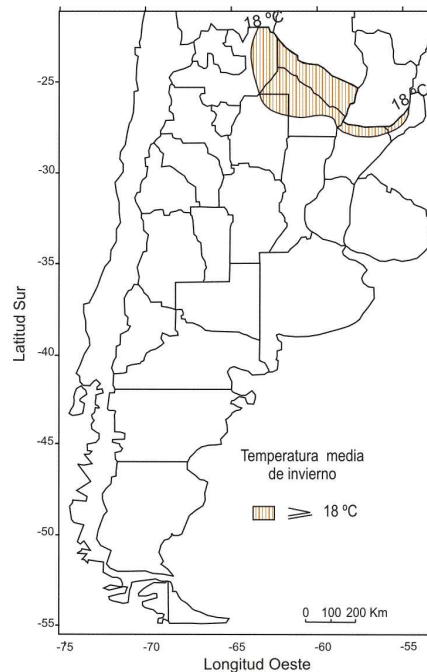


Figura 2. Temperatura media de invierno

Para analizar los límites térmicos también se tuvieron en cuenta los datos aportados por la literatura: la temperatura media invernal superior a 18°C, correspondiente a los meses de junio, julio y agosto, por ser crítica para las plantas tropicales; la temperatura media de enero superior a 22°C que corresponde a la letra “a” de la clasificación de Köppen (1918); la probabilidad de ocurrencia de heladas invernales con temperaturas: mayores o a lo sumo iguales a 0°C, de 0°C a -4°C e inferiores a ese nivel, con una recurrencia de una vez cada 5 años.

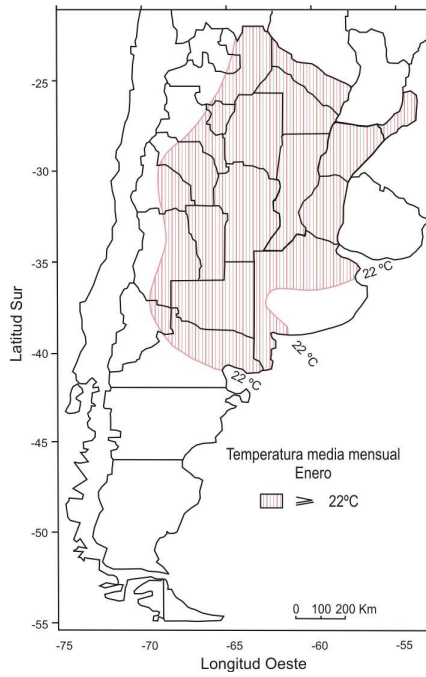


Figura 3. Temperatura media enero

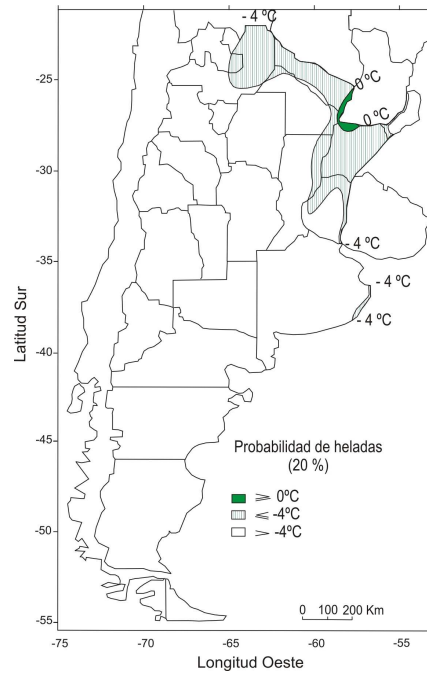


Figura 4. Probabilidad de heladas (20%)

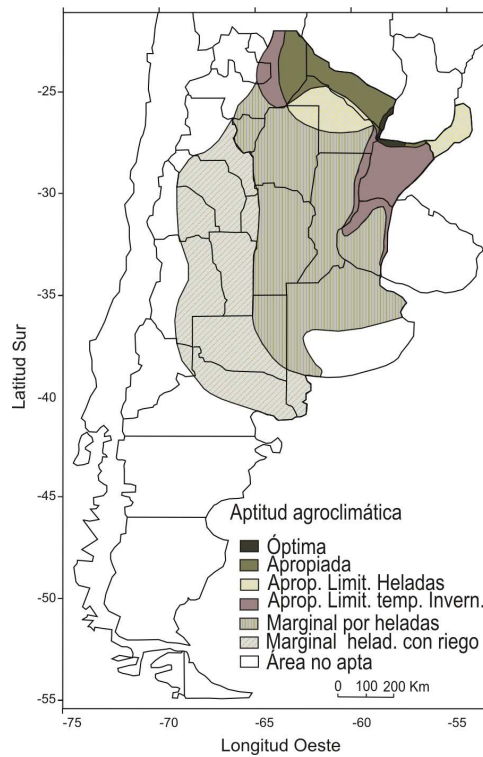


Figura 5. Aptitud agroclimática *Moringa oleifera*

Si bien la Figura 3, correspondiente a la temperatura media de enero superior a 22°C abarca una gran superficie de la República Argentina, la Figura 2 que limita las áreas con temperatura media invernal superior a 18°C, restringe la condición sólo para las provincias del norte.

La probabilidad de temperaturas mayores o iguales a 0°C con una recurrencia de una vez cada 5 años muestra como zonas libres de heladas al NW de Corrientes, y límite E de las provincias de Formosa y Chaco. La áreas con temperaturas de 0°C hasta -4°C comprenden parte de las provincias de Salta, Jujuy, N y E de Chaco, E de Santa Fe, la totalidad de Formosa y Corrientes, S de Misiones, N, W y E de Entre Ríos. Aparece también un sector en la costa bonaerense, con intensidades de heladas de hasta -4°C por el efecto atemperador del mar, aunque la zona no resulta apta para el cultivo por tener temperatura media de enero inferior a los 22°C.

Finalmente en la Figura 5 se muestra la aptitud agroclimática Argentina para el cultivo de *Moringa oleifera*. En esta Figura se visualizan como *áreas óptimas* el N de Corrientes, E de Chaco y E de Formosa; las *áreas apropiadas*, abarcan casi toda la provincia de Formosa, sector oriental de Salta, NW de Chaco; las *áreas apropiadas con limitaciones por heladas* se distribuyen en el NE de Santiago del Estero; N y centro de Chaco y Misiones; *áreas apropiadas con limitaciones por temperatura invernal* (inferior a 18°C), NE de Santa Fe, toda la provincia de Corrientes; S de Misiones; NE, N y NW de Entre Ríos, E de Jujuy y centro este de Salta; más al sur se ubican las *áreas marginal por heladas* y hacia el sur y oeste de ésta, se localiza el *área marginal por heladas y con riego*. Sin colorear aparecen las *áreas no aptas* para el cultivo.

Una vez definida el área potencial de cultivo, se debería analizar el impacto social y cultural que podría generar la implantación de la *moringa* en Argentina a gran escala. Actualmente, está siendo utilizada en países asiáticos principalmente como una hortaliza perenne. La calidad nutritiva de sus semillas, tallos y flores comestibles es tal, que se está revelando a nivel mundial como un recurso de primer orden con bajo costo de producción, para prevenir la desnutrición y múltiples patologías, como la ceguera infantil, asociada a carencias de vitaminas y elementos esenciales en la dieta. Las hojas frescas contienen gramo por gramo: 10 veces más vitamina A que las zanahorias y que la cantidad de vitamina C que tienen las naranjas; 17 veces más calcio que la leche; 15 veces más potasio que las bananas; 25 veces más hierro que la espinaca y 9 veces más proteína que el yogur.

Niños desnutridos, mujeres embarazadas, pobres e indigentes podrían beneficiarse del consumo adicional de las hojas de la *Moringa* en su dieta. El concentrado alto de hierro, proteínas, cobre, varias vitaminas y aminoácidos esenciales presentes en las hojas de la *moringa*, hacen un suplemento ideal nutricional virtualmente hablando. Pero, para que sea consumida en países como el nuestro, no va a ser sencillo y seguramente el proceso de adaptación va a ser muy lento y gradual. Habrá que enseñar a las personas a valorar las hojas de *Moringa oleifera* e inculcarles formas de cocción y procesamiento para que sea un alimento gustoso y atractivo.

## CONCLUSIONES.

- Se definió la potencial zona de cultivo de *Moringa oleifera* en Argentina. A priori, puede parecer demasiado reducida y la causa obedece a las temperaturas mínimas invernales que pueden hacer fracasar la plantación de esta especie de origen tropical-subtropical. Habría que ensayar con las variedades anuales, como PKM-1 y PKM-2 en las localidades que presentan temperaturas mínimas inferiores a -4°C.
- Se deberán hacer ensayos geográficos para verificar el rendimiento de biomasa y el contenido de aceite de las semillas creciendo bajo diferentes condiciones ambientales.
- Dado que *Moringa oleifera* es perenne y está adaptada a vivir bajo condiciones de humedad subhúmedas a semiáridas, se presenta como un cultivo alternativo en el área delimitada para recuperar suelos erosionados, que han sido deforestados para hacer agricultura; como fuente alimenticia para paliar la desnutrición en Argentina; para mejorar la calidad del ganado en el norte argentino y como materia prima para producir biodiesel y bioetanol.

## REFERENCIAS

- Bodner, C.C. and Gerau Roy, E. (1988). A contribution to Bontoc ethnobotany. *Economic Botany* 42(3):307-369.
- Both, F. and Wickena, G.E. (1988). Non-timber uses of selected arid zone trees and shrubs in Africa. FAO Conservation Guide 19. Rome: Food and Agriculture Organization. 176 pp.
- Dahot, M.U. (1988). Vitamin contents of the flowers of *Moringa oleifera*. *Pakistan Journal of Biochemistry* 21 (1-2): 21-24.
- Duke, J.A. (1983). Handbook of Energy Crops. (Solo publicado en Internet).
- Foidl, N; Mayorga, L y Cásquez, W. (2003). Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".
- Folkard, G. and Sutherland, J. (1996). *Moringa oleifera*. *Agroforestry Today*. 8(3): 5-8.
- FAO. 1982. Fruit-bearing forest trees: technical notes. FAO. Pap. 34 Rome: Food and Agriculture Organization. 177 pp.
- Jothi, P.V; Atlura, J.B and Reddi, C.S. (1990). Pollination ecology of *Moringa oleifera* (Moringaceae). *Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Plant Sciences*. 100 (1): 33-42.
- Köeppen, W. (1918). A Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag and Jahreslauf. *Petermanns Geogr. Mitt.* 64:193-203.
- Little, E. L; Wadsworth, F.H. (1964). Common trees of Puerto Rico and Virgin Islands. *Agric. Handb.* 249. Washington, D.C: US. Department of Agriculture. 548 pp.

- Mohammed, A.S; Lai, O.M; Muhammad, S.K.S; Long, K. and Ghazali, H.M. (2003). *Moringa oleifera*, Potentially a New Source of Oleic Acid-type oil for Malaysia. Investing in Innovation. V3. *Bioscience and Biotechnology*. Universiti Putra Malaysia. 137-140.
- Morton, J.F. (1991). The horseradish tree, *Moringa pterigosperma* (Moringaceae) A boon to arid lands? *Economic Botany*. 45 (3): 318-333.
- Nasir, E; Ali, S.I. eds. (1972). Flora of West Pakistan: an annotated catalogue of the vascular plants of West Pakistan and Kashmir Karachy, Pakistan: Fakhri Printing Press. 1028 pp.
- Nautiyal, B.P and Venhataraman, K.G. 1987. *Moringa* an ideal tree for social forestry. 1: Growing conditions and uses. *Myforest*. 23 (1): 53-58.
- Parrota, J. (2003). *Moringa oleifera* Lam. Resedá, horseradish tree. SO-ITF-SM-61. New Orleans, LA. US. Department of Agricultural. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 pp.
- Ramachandran, C; Peter, K.V; and Gopalakrishnan, P.K. (1980). Drumstick (*Moringa oleifera*) a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany*, 34 (3): 276-283.
- Serra, T.M; da Silva, J. P; dos Santos, I.C; Meneghetti, M; Meneghetti, S.M; Wolf, C. e Gossmann, M. 2007. Obtenção do Biodiesel metílico a partir de óleo de *Moringa oleifera* em presença de catalisador básico e ácido. Anais. 30 ° Reuniao Anual da Sociedade Brasileira de Quimica.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1996. Estadísticas Climáticas. 1961-70; 1971-80, 1981-90.
- Szolnoki, T. W. (1985). Food and fruit trees of the Gambia. Hamburg, Germany: Bundesforschungsanstalt für Forstund Holzwirtschaft. 132 pp.
- Troup, R.S. (1921). The silviculture of Indian trees. Oxford, UK: Clarendon Press. 3th. vol. 1195 pp.

**ABSTRACT:**

La *Moringa (Moringa oleifera)* could be used as raw material to produce biodiesel from seeds and bioethanol from their leaves. The objectives of the present paper were to determine the climate of the centre of origin of the specie and locate its agroclimate in Argentina, considering the different climatic variables that limit the development of the existent biotypes in the world, mentioned by the bibliography.

Agroclimatic indexes using published Climatic Statistics from the National Weather Service for the period 1961-2000, were calculated. Maps for each agroclimatic index were obtained and overlapped to define the agroclimatic zones of the species in Argentina. The resulting map shows the very suitable, suitable, suitable with constraints, marginal and not suitable areas for *Moringa*.

**Keywords:** *Moringa oleifera*, biodiesel, bioethanol, Argentina, agroclimate.