

# Statistical-Synergic Geopositioning of an Industrial Plant of Lignocellulosic Bioethanol in Argentina.

Luis Alberto Orlandi, Mgtr. Ing.<sup>1</sup>, Irma Noemi No, Mgtr. Lic.<sup>1</sup>, Maria Florencia Cibau, Esp. Ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina, lorlandi@ingenieria.unlz.edu.ar, ino@ingenieria.unlz.edu.ar

<sup>2</sup>YPF, Yacimientos Petrolíferos Fiscales S. A, Argentina, maria.f.cibau@ypf.com

*Abstract– Argentina, from the agronomic point of view, has adequate conditions for the development of basic inputs necessary for the production of energy from biomass; It also has great potential and comparative advantages for the production of biofuels. Likewise, it was possible to determine the ex-work price or price of the product placed in the plant increases depending on the transport distance of the raw material, which decreases the feasibility of the process. Regarding the specific location of the plant there are several techniques and instruments for decision-making, for the detection of the area of the country that ensures greater provision of raw material for the future production of lignocellulosic bioethanol. A combination of statistics with the Global Positioning System (GPS) and advanced industrial engineering tools such as the Brown-Gibson synergistic method, will reach the goal of the final location of the industrial plant.*

**Keywords-- Biofuels; Lignocellulosic bioethanol; Geopositioning; Synergistic Statistics; Industrial plant location.**

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.155>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

# Geoposicionamiento Estadístico-Sinérgico de una Planta Industrial de Bioetanol Lignocelulósico en Argentina

Luis Alberto Orlandi, Mgtr. Ing.<sup>1</sup>, Irma Noemi No, Mgtr. Lic.<sup>1</sup>, Maria Florencia Cibau, Esp. Ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina, lorlandi@ingenieria.unlz.edu.ar, ino@ingenieria.unlz.edu.ar

<sup>2</sup>YPF, Yacimientos Petrolíferos Fiscales S. A, Argentina, maria.f.cibau@ypf.com

**Resumen–** Argentina, desde el punto de vista agronómico, posee condiciones adecuadas para el desarrollo de insumos básicos necesarios para la producción de energía a partir de biomasa; también tiene un gran potencial y ventajas comparativas para la producción de biocombustibles. Asimismo, se pudo determinar que el precio ex-work o precio del producto puesto en planta aumenta en función de la distancia de transporte de la materia prima, lo cual disminuye la factibilidad del proceso. En cuanto a la ubicación específica de la planta existen varias técnicas e instrumentos de toma de decisiones, para la detección de la zona del país que asegure mayor provisión de materia prima para la futura elaboración del bioetanol lignocelulósico. Una combinación de la estadística con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y herramientas avanzadas de ingeniería industrial como el método sinérgico de Brown-Gibson, permitirán alcanzar el objetivo de la ubicación final de la planta industrial.

**Palabras-Clave–** Biocombustibles; Bioetanol lignocelulósico; Geoposicionamiento; Estadística Sinérgica; Ubicación de planta industrial.

**Abstract–** Argentina, from the agronomic point of view, has adequate conditions for the development of basic inputs necessary for the production of energy from biomass; It also has great potential and comparative advantages for the production of biofuels. Likewise, it was possible to determine the ex-work price or price of the product placed in the plant increases depending on the transport distance of the raw material, which decreases the feasibility of the process. Regarding the specific location of the plant there are several techniques and instruments for decision-making, for the detection of the area of the country that ensures greater provision of raw material for the future production of lignocellulosic bioethanol. A combination of statistics with the Global Positioning System (GPS) and advanced industrial engineering tools such as the Brown-Gibson synergistic method, will reach the goal of the final location of the industrial plant.

**Keywords–** Biofuels; Lignocellulosic bioethanol; Geopositioning; Synergistic Statistics; Industrial plant location.

## I. INTRODUCTION

### A. Situación Problema

Las energías alternativas son una solución eficiente al constante incremento de la demanda energética a nivel

mundial, en el caso del bioetanol tradicional obtenido por ejemplo del maíz o de la caña de azúcar, compite directamente con productos alimenticios, nuestra propuesta es partir de una materia prima como el rastrojo de maíz o sorgo que se considera un desecho no compitiendo de ninguna manera con la alimentación [1].

La finalidad es determinar geográficamente el óptimo posicionamiento de plantas que utilicen los derivados/desechos del sorgo y el maíz como materia prima, se utilizan los datos de la última campaña de producción agropecuaria nacional (2017/2018), disponible en la página del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina [2].

El método de análisis de conglomerados (análisis clúster) elegido para el tratamiento de los datos se basa en el agrupamiento de estos por características similares (en nuestro caso productividad/localización) y disimilitudes o diferenciación intergrupar.

### B. Bioetanol Lignocelulósico

Desde el año 2005 hasta la actualidad la demanda energética en la argentina se encuentra en un constante aumento que oscila en un 10% anual, generando una imperiosa necesidad de incrementar y diversificar la matriz energética y por consiguiente no depender solamente de combustibles fósiles como el petróleo.

La obtención de combustibles fósiles, por el momento pueden incrementar su producción en base a nuevas tecnologías en exploración y refinación como así también en el hallazgo de yacimientos de petróleo no convencionales.

En los últimos años la argentina se ve necesitada de importar petróleo y sus derivados ya que no puede satisfacer la demanda, en ese escenario la opción de los combustibles no convencionales son una solución posible para logra un balance en la matriz energética nacional.

El bioetanol es un bio-sustituto de los combustibles convencionales, se obtiene de la fermentación alcohólica de la caña de azúcar, en la actualidad y por ley los combustibles como las naftas tienen un porcentaje de etanol en su

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.155>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

formulación, generando un ahorro de combustibles fósiles y preservando el medio ambiente, evitando que se produzcan parcialmente gases de efecto invernadero que generan el calentamiento global.

La Ley 26.093 define como " biocombustibles" al bioetanol, biodiesel y biogás, que se produzcan a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos, que cumplan los requisitos de calidad que establezca la autoridad de aplicación.

Debido a la gran superficie cultivable de la argentina las plantas productoras de bioetanol se encuentran fuera de los centros urbanos más poblados generando la descentralización y empleo donde más se los necesita, impulsando asimismo el desarrollo de zonas del interior del país.

En cuanto al origen del bioetanol se distinguen dos procedimientos: los que utilizan como materia prima cultivos alimenticios tales como el maíz, trigo, sorgo y cebada, se los denomina de primera generación y compiten directamente con los alimentos, en cuanto a los de segunda generación son aquellos que se obtienen a partir de residuos forestales o residuos de procesos agroindustriales, básicamente se trata de una materia prima que no resta recursos a la industria alimentaria. Por el contrario, el material lignocelulósico podría aportar numerosas ventajas en la obtención de una fuente energética sustentable y renovable.

### C. Proceso Industrial

1) *Molienda*: Hay dos tipos de molienda, en seco y mojada. Durante el proceso de molienda en mojado, el grano está separado en sus componentes, el almidón se convierte en etanol y los componentes restantes o subproductos se venden; durante el proceso de molienda en seco, los granos no están fraccionados y todos sus nutrientes entran en el proceso y se concentran en un subproducto de la destilación utilizado para el alimento animal.

2) *Pretratamiento*: Los pretratamientos tienen por objetivo romper la matriz de lignina presente en el material, para dejar expuestos los distintos polisacáridos para que sean reducidos a azúcares fermentables a través de hidrólisis enzimática.

3) *Detoxificación*: Durante los procesos de pretratamientos e hidrólisis de la biomasa lignocelulósica, se generan una gran cantidad de compuestos que pueden inhibir el proceso. Por esta razón y dependiendo del tipo de pretratamiento pueden emplearse los métodos de detoxificación, que pueden ser físicos, químicos o biológicos.

4) *Hidrólisis*: Los polímeros de carbohidrato presentes en los materiales lignocelulósicos necesitan ser convertidos a azúcares simples antes de la fermentación, a través de un proceso llamado hidrólisis. Se clasifica en hidrólisis química y enzimática.

5) *Fermentación*: El hidrolizado del material lignocelulósico no solo contiene glucosa que es el primer producto de fermentación, sino también contiene varios monosacáridos como la xilosa, manosa, galactosa, arabinosa y

oligosacáridos que igualmente deben ser fermentados por microorganismos para una eficaz producción de bioetanol.

6) *Destilación*: Tanto la hidrólisis como la fermentación de la biomasa originan subproductos, y se han desarrollado tecnologías para su recuperación. En el caso en que los productos de fermentación son más volátiles que el agua su recuperación se hace generalmente por destilación. Un proceso de destilación separa el bioetanol de la mezcla líquida con el agua, por lo tanto, el primer paso es recuperar el bioetanol en una columna de destilación, donde la mayoría de los remanentes de agua y partes sólidas son removidos, el producto (37% bioetanol) se concentra en una columna, aquí los procesos se llevan a cabo con un excesivo cuidado para reducir las pérdidas en un 99.6%. Después del primer paso, los sólidos son separados usando una centrífuga y una secadora rotativa, una parte de los sólidos recuperados (25%) son fermentados nuevamente y el resto se evapora, aunque gran parte de lo evaporado se recupera nuevamente [3].

## II. MÉTODO ESTADÍSTICO

### A. Análisis Estadístico

En el presente análisis estadístico descriptivo se utilizan las bases de datos oficiales, publicadas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina, correspondientes al sector de la agroindustria nacional.

Se han seleccionado aquellos conjuntos de datos (datasets) de interés para la investigación, en su formato de origen (extensión .csv). La manipulación de los datos se realiza mediante herramientas de cálculo estadístico gratuitas y de código abierto (entorno de desarrollo "R") [4].

Considerando como objetivo del trabajo estadístico la detección [5] de la zona del país que asegure mayor provisión de materia prima (obtenida a partir del sorgo y maíz), para la futura elaboración de bioetanol, se utilizan conceptos asociados a la determinación de conglomerados por proximidad/productividad [6].

### B. Valores Absolutos de las Variables

En la Tabla I se exponen las cantidades correspondientes a las principales variables de los datasets agropecuarios oficiales. Los períodos de cultivo identificados con los números 47, 48 y 49 se corresponden con las campañas 2015/2016, 2016/2017 y 2017/2018, respectivamente (nomenclatura declarada en las bases del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina).

Las unidades de medida son:

- Superficie Sembrada: Hectárea.
- Superficie Cosechada: Hectárea.
- Producción: Tonelada.
- Rendimiento: Kilogramo por hectárea.

TABLA I  
CANTIDADES CORRESPONDIENTES A LAS ÚLTIMAS TRES CAMPAÑAS  
RELEVADAS

Variable	Campañas Maíz		
	47	48	49
Superficie sembrada	6904538	8486694	9139766
Superficie cosechada	5346593	6536763	7138620
Producción	39792854	49490326	43462323
Rendimiento	1840367	1891360	1547500
Variable	Campañas Sorgo		
	47	48	49
Superficie sembrada	842571	728280	640620
Superficie cosechada	673550	541955	437463
Producción	3029330	2526931	1563445
Rendimiento	920375	981003	757528

Realizando un trazado serial histórico, basado en las campañas cuyos datos se encuentran digitalizados y disponibles de manera abierta en los sitios mencionados, observamos una tendencia productiva creciente en modalidad *conjunta* para los cereales maíz y sorgo (Figura 1).

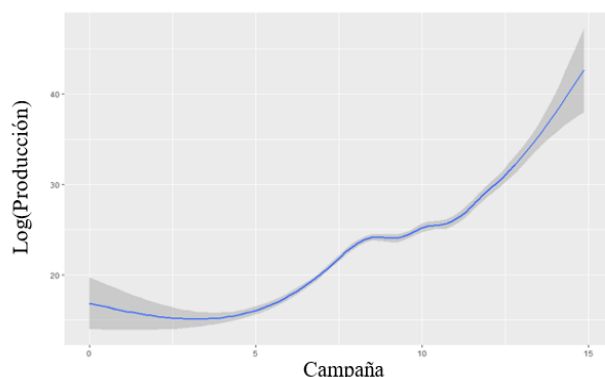


Fig. 1 Evolución histórica de los niveles productivos conjuntos maíz-sorgo.

### C. Distribución Geográfica

Las cantidades de maíz y sorgo producidas por provincia/municipio, según la última campaña relevada, se detalla a continuación utilizando una herramienta de visualización del peso de cada zona geográfica (por localidad y provincia) según la participación de la producción de los cereales estudiados. Se logra inferir una importante preponderancia de las provincias de Córdoba, Santa Fé, Buenos Aires, y Santiago del Estero como centros productivos de elevada envergadura. La zona norte, con Formosa y Salta como distinguidas, parecen especializarse en alta producción de sorgo y maíz respectivamente (Figura 2).

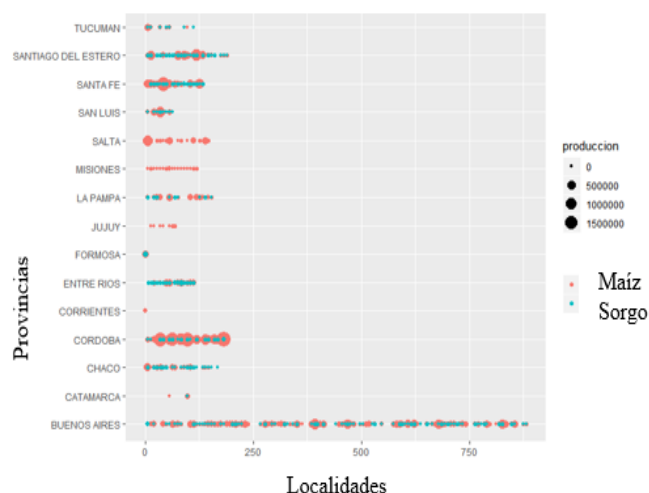


Fig. 2 Productividad de cada cultivo por Provincia/Localidad- Campaña 49

### D. Análisis de Conglomerados

Siguiendo el objetivo de determinar geográficamente el óptimo posicionamiento de plantas que utilicen los derivados/desechos del sorgo y el maíz como materia prima, se utilizan los datos de la última campaña de producción agropecuaria nacional (2017/2018), disponible en la página del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina.

Como se ha mencionado en la introducción la metodología elegida para el tratamiento de los datos se basa en el agrupamiento de estos por características de similitud intragrupo (en nuestro caso productividad/localización) y disimilitudes o diferenciación intergrupar [7]. La métrica definida para el procedimiento utiliza herramientas del software “R” y de sistemas abiertos de información geográficos (SIG) de georreferenciación.

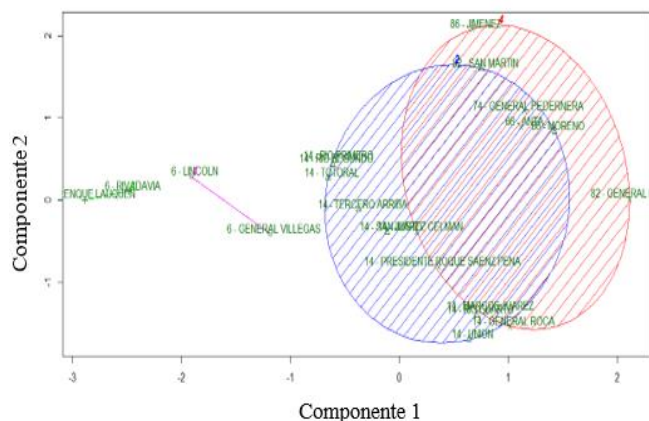
Para favorecer al objetivo de la determinación de la ubicación de la planta, se restringe el universo de localidades a aquellas que detentan la mayor productividad del cultivo (en la campaña 49), obteniendo un listado de 21 localidades destacadas para el maíz y 26 localidades para el sorgo.

Se demostró que el número “n” de clusters estadísticamente más fiable según las técnicas recursivas de reagrupamiento y centralización es de: n=4 para el maíz y n=5 para el sorgo [8].

### E. Clusters de Maíz

Luego de ejecutado el análisis estadístico con la metodología anteriormente expuesta, las localidades fueron asignadas por el entorno de desarrollo integrado “R” a diferentes grupos de pertenencia (clusters).

En la ilustración 3 se ejemplifica la distribución por conglomerados de las 21 localidades distinguidas de maíz por productividad geo-conjunta.



En la Tabla II puede observarse la composición de cada uno de estos cuatro conglomerados expresada en detalle.

TABLA II  
COMPOSICIÓN DE LOS CONGLOMERADOS DE MAÍZ - CAMPAÑA 49

Localidades de mayor Productividad	Provincia	Producción	Cluster
14 – UNION	Córdoba	1933012	2
14 - GENERAL ROCA	Córdoba	1741992	4
82 - GENERAL LOPEZ	Santa Fé	1702877	4
14 - RIO CUARTO	Córdoba	1586737	2
14 - MARCOS JUAREZ	Córdoba	1537134	4
14 –PTE. ROQUE SAENZ PEÑA	Córdoba	1075805	4
86 – MORENO	Santiago del Estero	1040935	2
14 - SAN JUSTO	Córdoba	809312	2
14 - JUAREZ CELMAN	Córdoba	807824	4
66 – ANTA	Salta	748203	4
74 - GENERAL PEDERNERA	San Luis	741003	4
6 - GENERAL VILLEGAS	Buenos Aires	726236	1
14 - TERCERO ARRIBA	Córdoba	672361	2
82 - SAN MARTIN	Santa Fé	589724	2
6 - TRENQUE LAUQUEN	Buenos Aires	549828	3
14 - TOTORAL	Córdoba	521618	2
6 – RIVADAVIA	Buenos Aires	511044	3
14 - RIO SEGUNDO	Córdoba	464659	2
6 – LINCOLN	Buenos Aires	455463	1
86 – JIMENEZ	Santiago del Estero	454999	4
14 - RIO PRIMERO	Córdoba	452684	2
<i>TOTAL</i>	<i>19123450</i>		

### F. Geoposicionamiento

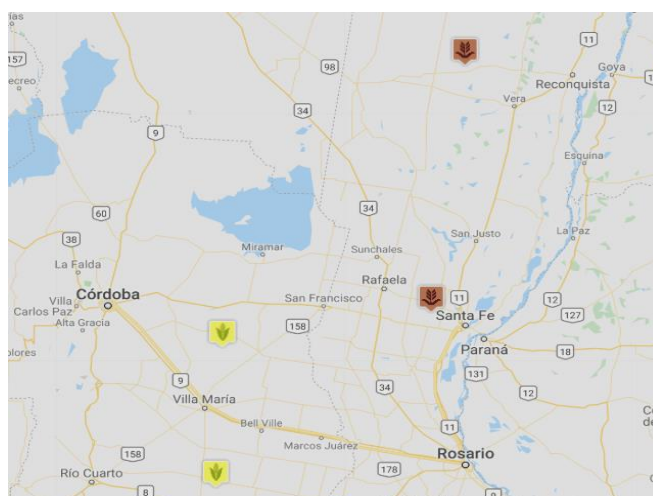
A partir de la determinación de conglomerados productivos mediante el agrupamiento de localidades “símiles” (según los criterios establecidos), se elaboran los mapas en geoplataformas abiertas [9]. Geográficamente la distribución de las localidades de mayor productividad en la campaña 49, coloreadas por cluster de maíz, se observa en la Figura 4.



**Fig. 4** Localidades de mayor productividad de maíz coloreadas por cluster

### G. Determinación de centroides

El uso conjunto de herramientas de análisis multivariante de conglomerados en “R” y los sistemas de información geográfica abiertos permiten obtener una síntesis visual de la ubicación georreferenciada de los centroides óptimos logístico-productivos para la ubicación de una planta industrial. Este resultado es un punto de partida para un análisis posterior en otras dimensiones orientado a la toma de una decisión definitiva. La vista del mapa que reúne los cuatro centroides de mayor productividad (dos correspondientes al maíz y dos al sorgo) se muestra en la Figura 5.



**Fig. 5** Centroides más productivos de ambos cultivos - Campaña 49

### III. MÉTODO SINÉRGICO

#### A. Factores Críticos

Elementos clave para la organización. Su calificación es binaria, es decir, 1 o 0 y se clasifican en: energía eléctrica, mano de obra, materia prima, seguridad.

El Factor crítico de una zona se determina como el producto de las calificaciones de los subfactores, cualquier calificación en 0 resulta en la nulidad del Factor crítico.

#### B. Factores objetivos

Son aquellos relevantes para la ubicación de la planta como costos fijos costo del lote, costo de mantenimiento, costo de construcción, costo de materia prima, etc.

#### C. Factores subjetivos

Factores cualitativos, pero que afectan de forma relevante el funcionamiento de la empresa. Su calificación se da en porcentaje (%) y se clasifican en: impacto ambiental, clima social, servicios comunitarios (Hospitales, Bomberos, Instituciones, etc.), transporte, competencia y actitud de la comunidad.

#### D. Aplicación del método de Brown & Gibson

En base al cálculo estadístico anterior se determinó que las provincias donde se encuentran los centroides son Santa Fé y Córdoba y las localidades más cercanas son Unión, General Roca y Marcos Juárez en Córdoba y San Martín en Santa Fé, quedando los factores críticos reflejados en la Tabla III [10].

TABLA III  
FACTORES CRÍTICOS

Localidades	Factores Críticos ( $FC_i$ )		Factores objetivos para el funcionamiento de la industria (base $10^3$ )				
	Materia Prima	Servicios	Costo de Mat. Prima [\$/ton]	Costo por Ha. de campo [\$/ha]	Costo Variable de transporte	Costo distancia clientes	Costo factor unitario ( $C_{ti}$ )
Unión (CBA)	1	1	10	480	4.92	1.64	511
General Roca (CBA)	1	1	11.1	960	4.66	1.55	991
Marcos Juárez (CBA)	1	1	12.5	900	4.37	1.46	931
San Martín (Santa Fé)	1	1	32.8	1080	4.86	1.62	1134

En la Tabla IV, se calcularán a través de la Fórmula 1 los factores objetivos seleccionados en la tabla previamente realizada, los factores objetivos expresados en decimales tal que sumados todos juntos, brindarán un resultado igual a "1".

$$FO_i = \frac{1/C_{ti}}{\sum_{i=1}^n 1/C_{ti}} \quad (1)$$

TABLA IV  
FACTORES OBJETIVOS

Localidades	Factores objetivos para el funcionamiento de la industria		
	Costo factor Unitario ( $C_{ti}$ )	Cálculo del Factor Objetivo ( $FO_i$ )	Factor Objetivo (%)
Unión (CBA)	511330.1214	0.397490894	39.7490894
General Roca (CBA)	991282.0779	0.205036560	20.5036560
Marcos Juárez (CBA)	931399.765	0.218218938	21.8218938
San Martín (Santa Fé)	1133863.188	0.179253608	17.9253608
Totales		1	100

En la Tabla V, se deben asignar los factores subjetivos con su respectiva ponderación porcentual.

TABLA V  
FACTORES SUBJETIVOS

Factores Subjetivos	Ponderación (%)	Unión (CBA)	General Roca (CBA)	Marcos Juárez (CBA)	San Martín (Santa Fé)
Disponibilidad de Materia Prima	47	47	47	23.5	0
Disponibilidad de Mano de Obra	3	3	0	3	0
Disponibilidad de Servicios	15	15	7.5	15	7.5
Distancia hasta los clientes	30	0	15	30	0
Accesibilidad	5	5	2.5	5	2.5
Total (%)	100	70	72	76.5	10
Porcentaje en valor/100 ( $FS_i$ )		0.7	0.72	0.765	0.1

El indicador de localización se determinará en la Tabla VI en base a la Fórmula 2 con un factor de confiabilidad adoptado de  $\alpha = 0.8$ .

$$IL_i = FC_i \{ (FO_i * \alpha + [(1 - \alpha)(FS_i)]) \} \quad (2)$$

TABLA VI  
INDICADOR DE LOCALIZACIÓN

Ciudad	Indicador de Localización ( $IL_i$ )
Unión (CBA)	0.457992715
General Roca (CBA)	0.308029248
Marcos Juárez (CBA)	0.327575150
San Martín (Santa Fé)	0.163402886

Finalmente se observa que la ciudad elegida para la ubicación de la planta es Unión, provincia de Córdoba con el máximo valor indicador de localización de 0.457992715.

#### IV. CONCLUSIONES

Utilizando técnicas estadísticas combinadas con el método sinérgico de Brown & Gibson, se pudo evaluar entre diversas opciones de ubicación de una planta industrial de bioetanol lignocelulósico, la más conveniente para su geolocalización, esto permitirá favorecer a las pequeñas economías regionales integrando la cadena de valor de los productos y subproductos obtenidos y así mejorar la calidad de vida de las personas que habitan dicha región.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora, a través de su Decano Dr. Ing. Oscar Manuel Pascal, a los Doctores Ingenieros Antonio Arciénaga Morales y Luis Bertoia por su buena predisposición, aportes y sugerencias para la elaboración de este trabajo como así también al alumno becario EVC-CIN Sr. Cristian Martín Michalczuk, por su colaboración.

#### REFERENCIAS

- [1] L. A. Orlandi. Tesis de Maestría: “Análisis de factibilidad económica de la producción de bioetanol lignocelulósico a partir de una fuente como el rastrojo de maíz y, eventualmente, de sorgo”, Facultad de Ingeniería, UNLZ, 2017. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/6525>.
- [2] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina. [https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset?\\_tags\\_limit=0](https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset?_tags_limit=0)
- [3] R. H. Perry, D. W. Green. Perry's Chemical Engineers Handbook. Ed. McGraw-Hill, 2003.
- [4] RStudio. Software estadístico. <https://www.rstudio.com/>
- [5] A. Guazzelli. “Técnicas de Modelado Predictivo. Predicciones sobre el futuro Parte 3”. Recursos bibliográficos IBM. <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/industry/library/ba-predictive-analytics3/index.html>.
- [6] J. Martínez Moguerza. “Minería de Datos”. Material de Estudio para el Máster en Ingeniería de Sistemas de Decisión de la URJC, España, 2016/2017.
- [7] C. M. Bishop “Pattern Recognition and Machine Learning”. Springer, 2006. [http://cds.cern.ch/record/998831/files/9780387310732\\_TOC.pdf](http://cds.cern.ch/record/998831/files/9780387310732_TOC.pdf)
- [8] R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Store. “Pattern Classification”. John Wiley & Sons, Wiley Interscience 2<sup>da</sup> Edición, 2001, New York, USA.
- [9] Google Maps. Software de Geoposicionamiento Global. Mapa producido. [https://drive.google.com/open?id=1VPcRslGbYQA0FrkGQRUv0OwvZp1\\_U3Ld&usp=sharing](https://drive.google.com/open?id=1VPcRslGbYQA0FrkGQRUv0OwvZp1_U3Ld&usp=sharing)
- [10] B. Salazar López. “Método sinérgico de localización de plantas industriales (Brown y Gibson)”. Métodos de Localización de Planta. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/diseño-y-distribución-en-planta/metodos-de-localización-de-planta/>