

Localización óptima de destilerías autónomas utilizando un Sistema de Información Geográfico (SIG)

Guillermo Martínez Pulido¹, Alejandra P. Ingaramo¹, Mario R. Cesca¹ y Humberto Heluane¹

*(1) Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
{aingaramo,mcesca,hheluane}@herrera.unt.edu.ar*

RESUMEN: La biomasa es un recurso renovable que depende de la geografía y que puede ser utilizada para la producción de energía y de compuestos químicos. En este estudio se aplicó una metodología que permite determinar la localización óptima de plantas industriales utilizando el sistema de información geográfico. Se analizaron diferentes restricciones y factores ambientales que se incluyen en el modelo de elección del espacio territorial adecuado para la localización de dichas plantas. Se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para estructurar los factores influyentes en la localización. Como caso de estudio se eligieron las Pequeñas Destilerías Autónomas PDA que tienen un gran impacto en el desarrollo socio-económico del interior de la provincia de Tucumán. En el trabajo se aplica la metodología para encontrar las mejores localizaciones para cada variable. En el futuro se evaluarán simultáneamente las capas obtenidas.

1 INTRODUCCION

A partir de la implementación de la Ley Nacional 26093 de Biocombustibles que establece que “todo combustible líquido denominado nafta, deberá ser mezclado con un 5% de bioetanol”, se requiere una producción estimada de 345 millones de litros de bioetanol por año de los cuales 215 millones aproximadamente corresponden a satisfacer la demanda para el corte de los combustibles y 130 millones para proveer a la industria química, farmacéutica, bebidas, alimentos, etc. Según la Cámara de Alcoholes la producción de las destilerías nacionales en la Zafra 2010-2011 alcanzó los 230 millones de litros, produciendo un déficit de casi 115 millones de litros para abastecer a todo el mercado Nacional.

La instalación de pequeñas destilerías autónomas (PDA), distribuidas en los campos donde se encuentran los cañaverales, obtendrá como producto final Etanol Anhidro 99,5° GL y podrá disminuir el déficit actual.

Como subproductos se podrían aprovechar el Bagazo y los Residuos Agrícolas Cañeros (RAC) como combustibles sólidos otorgándole la autonomía energética a la Planta Industrial. Otro subproducto será el bagazo enriquecido para forraje, la recuperación de las vinazas para fertiriego en los cañaverales circundantes y para subproductos de alimentación animal. Al tratarse de producción de alcohol directa de jugo de caña, la carga orgánica de las vinazas generadas será considerablemente menor a las generadas a partir

de la melaza. Con esta configuración se pretende darles una alternativa de negocio a los pequeños productores, teniendo éstos la posibilidad de agregarle valor a su materia prima.

La localización de plantas industriales es un tópico de gran importancia al momento de decidir la inversión, ya que está fuertemente asociada a los costos de operación, puesto que de esta localización dependen, por citar algunos, los costos de transporte, disponibilidad de recursos hídricos e infraestructura, etc. Los sistemas de información geográfico (SIG) son una herramienta idónea para encarar el problema de localizar plantas de bioenergía debido a su dependencia de la biomasa. Los SIG han sido utilizados con éxito para estudiar la ubicación de industrias (Arifa, 2012; Jagtar, 2011).

En este trabajo se estudia la determinación de la mejor ubicación para pequeñas destilerías autónomas (PDA) teniendo en cuenta para ello factores económicos y ambientales. Los diferentes criterios de preferencia se analizaron a través de factores de peso utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) introducido por Saaty (2008).

2 METODOLOGIA

2.1 Recopilado de Información

Se trabajó con aquellos datos disponibles en la provincia de Tucumán en capas georeferenciadas. Para ello se acudió a la Red de Información para el Desarrollo Productivo de Tucumán (RIDES) perteneciente al Ministerio de Desarrollo

Productivo de la Provincia de Tucumán donde se obtuvieron las siguientes capas, de ahora en adelante también llamadas variables

- Superficie implantada con Caña de Azúcar
- Ubicación de los Ingenios Azucareros
- Ubicación de Localidades (Urbanizaciones)
- Cursos de Aguas
- Rutas
- Mapa departamental de Provincia de Tucumán

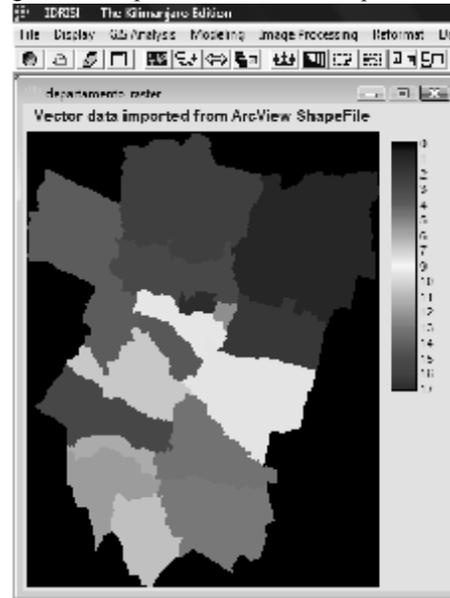
La limitación del número de capas en estudio en este trabajo está dada por la disponibilidad de información en los organismos públicos responsables de generar datos e información para ser aprovechados por herramientas informáticas como software de Sistemas de información Geográfica. Para el manejo de la información, y la asignación de valores a las celdas, y todo el trabajo que se hizo a posteriori se utilizó el software de Sistema de Información Geográfica IDRISI edición KILIMANJARO, de uso libre.

2.2 Rasterizado

El rasterizado consiste en dividir en celdas o pixels todo el territorio que se quiera poner bajo estudio, en nuestro caso se realizó en toda la Provincia de Tucumán. Se propone adoptar la mínima unidad o celda equivalente a una hectárea.

Para esto se rasterizó el mapa departamental de la provincia de Tucumán, y fue tomado como matriz para todas las otras capas, las cuales se referenciaron a ésta. En la Figura 1 se muestra el mapa de la provincia de Tucumán rasterizado.

Figura 1. Mapa rasterizado de la provincia de



Tucumán.

2.3 Análisis de Distancias

Este análisis consiste en calcular las distancias entre las celdas con información y todas las demás celdas de la capa. Por ejemplo, si se realiza el análisis de preferencia para la variable Ubicación de Localidades o Zonas Urbanas, se calcula la distancia que hay entre cada una de las celdas a aquellas donde hay parte de una ciudad, pueblo o asentamiento urbano.

En la imagen de la Figura 2 se puede observar que las celdas toman un color diferente de acuerdo a la distancia a las celdas con información para la capa Localidades o Zonas Urbanas (la imagen original es en colores). Ahora todas las celdas contienen como información un valor de distancia en metros. Este procedimiento se repite para cada una de las variables consideradas, generando imágenes similares a la de la Figura 2.

Tabla1: Restricciones impuestas a las variables en estudio.

| FACTOR EXCLUYENTE | RESTRICCIÓN |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1-Rutas | A una distancia no menor a 100 m |
| 2-Localidades o Zonas urbanas | A una distancia no menor a 1 km |
| 3-Ríos, Diques o Causes de Agua | A una distancia no menor a 200 m |
| 4-Ingenios | A una distancia no menor a 5 Km |
| 5-Superficie con Caña | A una distancia no mayor a 30 km |

2.5 Determinación del Peso Relativo de las variables

Una vez normalizadas las capas, fue posible integrarlas en un modelo ponderal lineal. Para ello se asignó a cada capa un factor w que representa el peso relativo de la variable en el análisis. Por ejemplo, no tendrá el mismo peso la "Ubicación de la Biomasa" que la "Disponibilidad de Agua" o "Rutas", cuando se contempla la ubicación de una destilería autónoma ya que la disponibilidad de materia prima en las cercanías tiene mayor importancia que la presencia de rutas.

Dicho factor de peso relativo w se generó con el método conocido como Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Saaty, 2008). En este método, luego de elegir la jerarquía de los factores influyentes en la toma de decisión, todas las alternativas son comparadas uno a uno con el objetivo de determinar la importancia relativa de los criterios en cada nivel. Como resultado de la comparación de n criterios, se obtiene una matriz

cuadrada A de $n \times n$, en la cual cada elemento a_{ij} ($i,j=1,2,3,\dots,n$) es la intensidad de la importancia relativa entre el criterio i y el criterio j , de modo que $a_{ij}=1$, $a_{ij}=1/a_{ji}$, y $a_{ij} \neq 0$. El vector de pesos se obtiene de la siguiente manera:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \tag{1}$$

Donde:

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{A_j} \tag{2}$$

$$A_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \tag{3}$$

En la Tabla 2 se muestran los factores contemplados para las destilerías autónomas y los valores obtenidos para los factores de pesos relativos w_i .

Tabla 2: Factores contemplados para la localización de destilerías autónomas.

| Factores | Caña de Azucar | Disponibilidad de Agua | Ubicación de Ingenios | Rutas | Localidades | w_i |
|------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|-------|-------------|-------|
| Caña de Azucar | 1 | 4 | 5 | 7 | 9 | 0,497 |
| Disponibilidad de Agua | 0,25 | 1 | 3 | 5 | 9 | 0,238 |
| Ubicación de Ingenios | 0,2 | 0,33 | 1 | 5 | 9 | 0,166 |
| Rutas | 0,14 | 0,2 | 0,2 | 1 | 5 | 0,069 |
| Localidades | 0,11 | 0,14 | 0,11 | 0,2 | 1 | 0,028 |

Luego de obtener el peso relativo de cada variable, se obtiene el valor final de preferencia de cada celda con la siguiente expresión (Ec.4).

$$C_{p,j} = \sum_j w_j C_{i,j} \tag{4}$$

Donde:

i representa la i -ésima celda, con $i=1,2,\dots,n$

j representa el j -ésima capa, con $j=1, 2, n$

w_j representa el peso relativo del j -ésima factor

En la Figura 4 se muestra el mapa que se obtuvo al normalizar los datos correspondientes a Localidades o Zonas urbanas, habiendo obtenido de igual modo los mapas correspondientes a las otras capas consideradas.

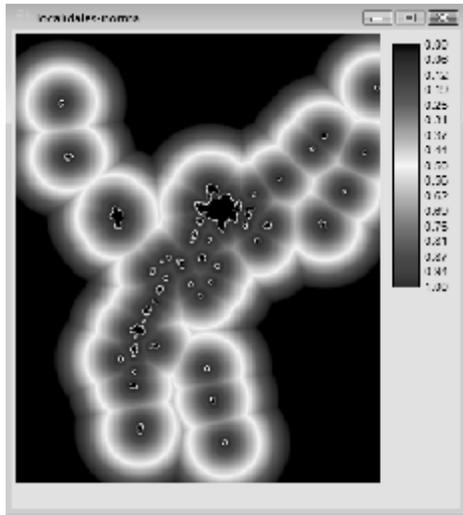


Figura 4: Mapa normalizado para la capa Localidades o Zonas Urbanas de la provincia de Tucumán.

3 CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo utilizando la tecnología de Sistema de Información Geográfica para detectar las ubicaciones adecuadas para la instalación de destilerías autónomas. Las restricciones y factores de influencia en la toma de decisión fueron contemplados utilizando el Proceso Analítico Jerárquico. El mapa normalizado obtenido (Fig. 4) permite detectar las ubicaciones más adecuadas (zonas coloreadas donde los valores normalizados toman valor 1) según las condiciones impuestas al sistema. La próxima tarea a realizar será evaluar las cinco capas simultáneamente para determinar los

lugares más adecuados para localizar PDAs y posteriormente evaluar los costos de transporte para poder identificar cual son las localizaciones óptimas para estas plantas industriales en la provincia de Tucumán.

4 BIBLIOGRAFIA

Arifa Sultana, Amit Kumar. Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system, *Applied Energy* 94, 192–201, 2012.

Jagtar Singh, B.S. Panesar, S.K. Sharma. Geographical distribution of agricultural residues and optimum sites of biomass based power plant in Bathinda, Punjab, *Biomass and Bioenergy* 35, 4455-4460, 2011.

Saaty TL., Decision making with the analytic hierarchy process., *Int J Serv Sci*, 1:83–98, 2008.

IDRISI-Kilimanjaro, Clark Labs, Clark University, Massachusetts, USA.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán a través del Programa Ingeniería de Procesos Agroindustriales. Los autores agradecen la invaluable ayuda obtenida de Tco. Horacio Leonardo Madariaga del CONICET en el uso del software.