

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN



“UBICACIÓN ÓPTIMA PARA LA INSTALACIÓN DE PLANTAS DE ADECUACIÓN DE BIOMASA”

PROYECTO DE GRADUACIÓN DE LA CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

GUILLERMO MARTÍNEZ PULIDO

TUTOR: DR. HUMBERTO HELUANNE

- AÑO 2013 -

INDICE

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 2: CONTEXTO ENERGÉTICO NACIONAL Y LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA	3
La Biomasa	4
Biomasa densificada para combustible sólido	6
Pellets y Briquetas	9
Capítulo 3: POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA LOCAL	13
Capítulo 4: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE ADECUACIÓN DE BIOMASA	20
Recepción	22
Acopio en Playones	22
Zona de Adecuación	23
Acopio en Silo	26
Densificado	26
Embolsado y Despachado	29
Capítulo 5: UBICACIÓN DE ZONAS APTAS PARA UNA PLANTA DE ADECUACIÓN DE BIOMASA (PAB)	31
Obtención de Variables y Factores Limitantes	33
Rasterizado del mapa departamental de la provincia de Tucumán	41
Análisis de Preferencia	42
Función Distancia	42
Normalización de las distancias	47

Asignación de Peso a cada Variable	50
Capa final del Análisis de Preferencia	53
Análisis de Exclusión	55
Obtención Zonas Prohibidas	55
Intersección Zonas Prohibidas	59
Obtención Zonas Aptas para la Planta de Adecuación de Biomasa	60
Capítulo 6: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	63
Capítulo 7: CONCLUSIÓN	65
Referencias	66

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La valorización de recursos biomásicos es una tendencia global como punto de partida para la utilización de dichos recursos con fines energéticos. La caracterización y cuantificación del tipo de biomasa es el primer paso cuando se habla de bioenergía o dendroenergía.

La clasificación de la biomasa, desde el punto de vista energético, se comenzó a manejar en Argentina recién a partir del 2010 y se la divide en dos grandes grupos: Húmeda, obtenida con humedad mayor al sesenta por ciento y Seca, obtenida con humedad menor al sesenta por ciento.

En este trabajo se considerará aquella biomasa que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad menor al sesenta por ciento, provenientes de los residuos de podas y cosechas de cultivos agroindustriales como es el caso de la Caña de Azúcar, el Citrus y el Tabaco.

Tucumán es la provincia de menor extensión del país, pero es el primer productor de azúcar y bioetanol a nivel nacional y el primer productor y exportador de limón a nivel mundial. Su producto bruto geográfico (PBG) representa el 2,1% del PBI de Argentina. Esto convierte a Tucumán en la provincia con mayor capacidad productiva de la Región del Norte Grande Argentino.

La provincia cuenta con un total de 250.000 hectáreas sembradas de Caña de Azúcar, generando exportaciones de alcohol y azúcar del orden de los 65 millones de pesos y 38.000 hectáreas de Citrus, las cuales generan exportaciones del orden de los 540 millones de pesos. Ambos cultivos producen una gran cantidad de residuos producto de la cosecha en el caso de la Caña y de la poda en el caso del Citrus. El Tabaco sin embargo ocupa una superficie de 8.200 hectáreas sembradas en la provincia, generando exportaciones del orden 4,5 millones de pesos. Al igual que los cultivos descriptos anteriormente, el Tabaco posee una importante generación de residuos luego de la cosecha.

En la actualidad, los productores primarios de estos cultivos realizan a los residuos generados en el campo la gestión que menos costos le signifiquen. Así es que la práctica del fuego todavía es muy común en la región originando graves problemas ambientales y de seguridad.

En este proyecto se estudia la ubicación de las fincas donde se generan estos residuos para encontrar las zonas aptas para la instalación de una Planta de Adecuación de Biomasa (PAB), en la cual se valoricen dichos residuos dándoles nuevos formatos y agregándoles valor por unidad de volumen para promover su comercialización y utilización como nuevos combustibles sólidos renovables.

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, insumos, etc. El sistema de información geográfico (SIG) es una herramienta idónea para encarar el problema de localizar plantas de bioenergía debido a su dependencia de la ubicación de la biomasa. El SIG ha sido utilizado con éxito para estudiar la ubicación de industrias y son conocidos los casos de estudio en *Bathinda, India* y *Provincia de Alberta, Canadá* [1][2]. En el país no se realizaron aplicaciones concretas desde el punto de vista de la ingeniería, solo hay investigaciones relacionadas a las ciencias de la tierra más que a proyectos de ingeniería.

En este trabajo se estudia la determinación de la mejor ubicación para PAB teniendo en cuenta para ello factores económicos y ambientales.

Éstas herramientas son bastantes utilizadas por los profesionales y especialistas de las ciencias de la tierra como los Agrónomos y Geógrafos para realizar los ordenamientos territoriales, ubicaciones de bosques nativos, superficies sembradas de distintas especies. También se conocen casos de estudios para evaluar la factibilidad y conveniencia de ampliaciones de ciudades, estudios de urbanizaciones, etc.

CAPITULO 2: CONTEXTO ENERGÉTICO NACIONAL Y LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA

La biomasa y en especial los residuos agro y foresto industriales tuvieron una gran relevancia durante la última década con el crecimiento de las energías renovables, impulsadas por fuertes políticas ambientales a nivel global marcadas sin lugar a dudas por el crecimiento exponencial del consumo y estándar de vida del ser humano.

Argentina es un país por excelencia productor de materia prima, conocido mundialmente en alguna época como el granero del mundo, cuenta con una gran extensión de tierras destinadas a los cultivos agroindustriales, los cuales son un *commodity* muy valorado pero no del todo aprovechado.

Para mantener este modelo productor de materia prima, es fundamental satisfacer la demanda de combustibles líquidos para los sistemas de transporte y de combustibles gaseosos para la alimentación de las industrias y la generación de energía eléctrica. Así es que la matriz energética nacional al 2011 estaba cubierta por un 51% de Gas Natural, 36% de Petróleo, 5% de Hidroenergía, 3% Energía Nuclear, 1% de Carbón Mineral y el 4% restante es cubierto por otras fuentes de energías donde entra la biomasa, fotovoltaica, eólica entre otras. La Fig. 2.1 representa la matriz energética nacional al año 2011.

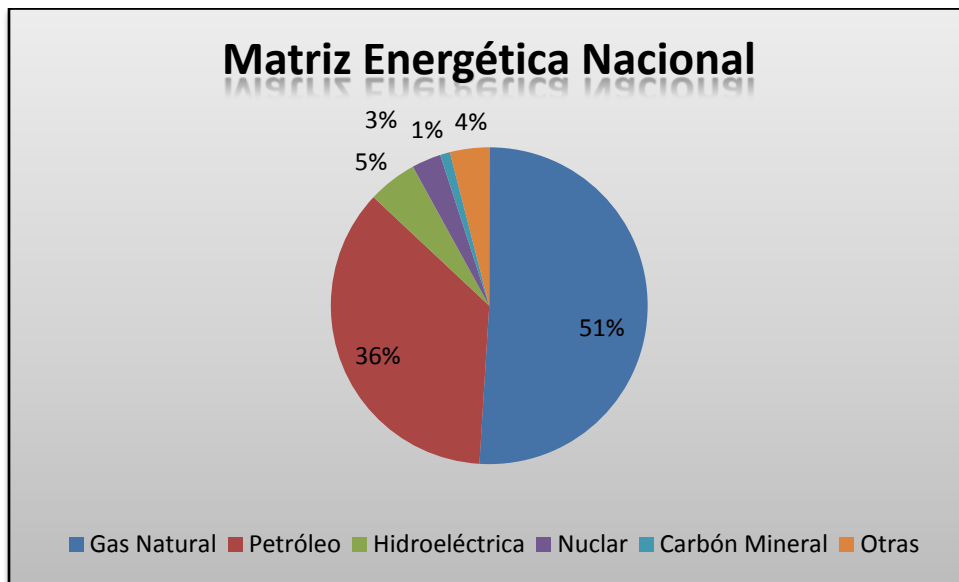


Figura 2.1: Composición de la matriz energética nacional al año 2011. [3]

Es evidente la gran dependencia de combustibles fósiles que tiene el país, cerca del 88% de los recursos utilizados para la generación de energía eléctrica son de origen no renovables.

Es por esto que hace algunos años ya, se viene realizando un apoyo y fomento hacia el desarrollo de nuevas fuentes de energías, como ser los biocombustibles líquidos y ahora sólidos, fotovoltaica y eólica. Para ellos surgieron Leyes y Programas como la Ley Nacional 26.093 (año 2010) que obliga a realizar a los combustibles líquidos como la nafta y el diesel un corte del 5% de biotanol y del 7% de biodiesel respectivamente, la Ley Nacional 26.190 (año 2006) que promueve el fomento del uso de las fuentes renovables para la generación de energía eléctrica.

En el marco de la ley 26.190, el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicio instruyó a la empresa ENARSA para realizar el programa GENREN, el cual lanzó una licitación convocando ofertas de disponibilidad de generación de energía proveniente de fuentes de origen renovables. A su vez, el programa PROBIOMASA, proyecto para la promoción de la energía derivada de la biomasa, iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en conjunto con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentos, la Secretaría de Energía y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, está en la etapa de caracterización de zonas aptas para el desarrollo de estas tecnologías.

Estos son algunas de las líneas de promoción y financiación en donde las energías alternativas toman protagonismo difundándose entre la sociedad.

2.1 La Biomasa

La biomasa es producida por organismos vivos, principalmente por la actividad fotosintética de las plantas, pero también es producida por los animales, los insectos y los microorganismos, etc.

La reglamentación empleada por la Unión Europea define a la biomasa como: “la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura (incluido sustancias vegetales y animales), de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales”.

La legislación Argentina no se ha referido al tema aún, por lo que existe un vacío legislativo necesario de llenar.

La Figura 2.2 ilustra un esquema sobre los principales orígenes de la biomasa.

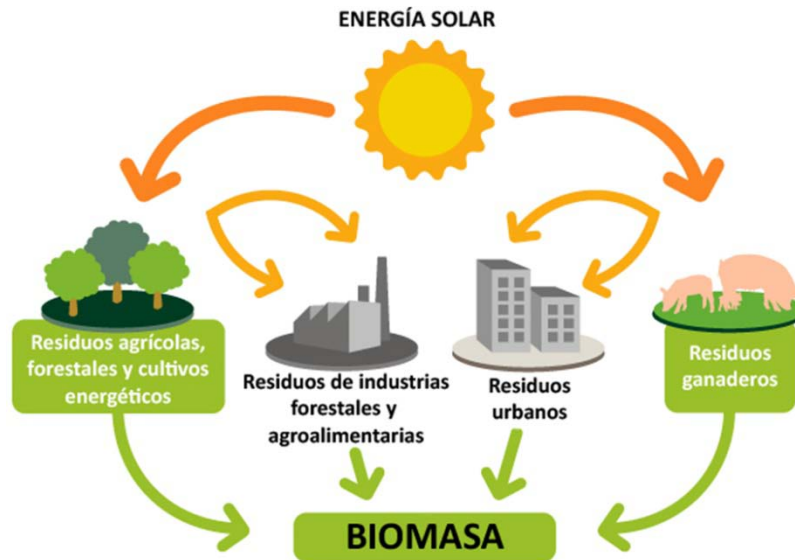


Figura 2.2: Origen y fuentes de biomasa energética.

A la biomasa [4] se la puede clasificar como:

a) Producción directa de biomasa:

Se trata de biomasa bruta: árboles y arbustos de los bosques, plantas que crecen naturalmente, o de producciones agrícolas y materias acuáticas diversas, como los diferentes tipos de algas.

b) Producción indirecta de biomasa:

También denominada biomasa secundaria. Abarca todos los residuos derivados de materias primas de origen animal o vegetal, habiendo sufrido o no modificaciones físicas o químicas. Estos desechos proceden de la industria, de particulares, de comercios o de colectividades locales.

c) **Carbono fósil:**

El carbón, el petróleo y el gas natural provienen de la biomasa viva descompuesta durante millones de años y acumulada en el subsuelo. Así almacenados no generan CO₂ suplementario en la atmósfera. Su combustión produce CO₂, que se diluye en la atmósfera aumentando su concentración: su extracción y utilización se realiza una sola vez, y no tiene, por tanto un carácter renovable. Estos materiales aunque proceden de la biomasa no son considerados como biomasa.

d) **Productos intermedios:**

Estos productos son por ejemplo la turba, el gas de minas de carbón cerradas, la madera tratada con productos químicos tóxicos.

2.2 Biomasa densificada para combustible sólido

Una tendencia adoptada a nivel global es la de realizar un aprovechamiento de los residuos agro y foresto industriales. Dicho aprovechamiento se basa en recolectar los residuos, en el caso que se traten de poda, cosecha o raleos, para ser utilizados como combustibles sólidos renovables.

La mayoría de estos residuos tienen la similitud de poseer una baja densidad, lo que conlleva un tratamiento determinado en lo que respecta a su recolección y transporte hasta los centros de adecuación de biomasa o bien hasta los puntos de consumo.

El principal problema que tienen estos residuos al ser aprovechados es su manipulación y traslado, su forma heterogénea, su baja densidad y su ubicación tan dispersa. Es por esto, que en algunos casos se utilizan enfardadoras o equipos compactadores que realizan fardos, packs o atados de biomasa para facilitar su traslado desde el campo y lugar de origen hasta los centros de consumo o de adecuación.

En la Fig. 2.3 se presenta un equipo enfardador como los que se citan en el párrafo anterior.



Figura 2.3: Enfardadora

Otra tecnología utilizada para caso de residuos forestales y de podas municipales, donde la biomasa es de mayor densidad, y aún más heterogénea que el caso mencionado anteriormente, son las máquinas Chipeadoras. Estas sirven para homogeneizar la biomasa de origen forestal, particularmente troncos, ramas y trozos de árboles provenientes de podas municipales o que son descartados de la madera comercial en las mismas plantaciones por algunos defectos de gestación.

La Chipeadora, como la que se muestra en la Fig. 2.4, tiene un gran poder de corte, convirtiendo troncos de hasta 10 o 15 centímetros de diámetro, de acuerdo con las características de la máquina, en Chips de una pulgada cuadrada y no más de un centímetro de espesor.



Figura 2.4: Chipeadora marca Deisa de 150 Hp. Ingenio Fronterita

En la Fig. 2.5 se presentan Chips de madera de Pino producto del chipeado de la máquina anterior.



Figura 2.5: Chip de madera de Pino

También existen Chipeadoras de menor porte para ramas o varillas, generalmente para residuos municipales, como la que muestra la Fig. 2.6.



Figura 2.6: Chipeadora 65 Hp.

2.3 Pellets y Briquetas

La pelletización es un proceso de compactación de material lignocelulósico de determinadas condiciones (granulometría y humedad menor del 12%) para obtener cilindros de diámetro entre 7 y 22 mm y de longitud entre 2,2 cm a 7.0 cm. La compactación facilita la manipulación, disminuye los costos de transporte y aumenta su valor energético por unidad de volumen. Cabe destacar que si la manipulación y el transporte fueran problemas menores, sería conveniente utilizar directamente los residuos o leña triturada, evitando el costo de transformación [5]. En la Fig. 2.7 se muestran pellets de aserrín.



Figura 2.7: Pellets de Aserrín

El briquetado es un proceso similar al pelletizado, solo que el material utilizado puede ser de una granulometría mayor. La Briqueta, es un cilindro de 5 centímetros de diámetro y del largo que se desee de acuerdo a su uso. En la Fig. 2.8 se puede ver un ejemplo de este producto.

Para este proceso son óptimos los residuos tales como las virutas y las biomásas con altos porcentajes de fibras como las hojas de la planta de caña de azúcar, la chala del maíz, etc.



Figura 2.8: Briquetas

Las energía eólica, solar e hidráulica pueden ser bien aprovechadas por el hombre, pero tiene una falencia que es la dependencia de fenómenos climáticos para la generación continua de energía eléctrica. Ya sea el sol, el viento o el agua, son variables que el hombre no puede controlar, por lo que si existe una demanda de energía eléctrica las 24 horas, se deberá contar con un sistema convencional de generación de respaldo para asegurar el suministro.

Otro tema a resolver para estas energías alternativas, son los sistemas de almacenamiento para la acumulación. En el caso de la biomasa, es la única que permite el almacenamiento de energía en forma de moléculas hidrocarbonadas estables y disponibles. Además el hombre puede asegurar un suministro continuo de energía derivada de la biomasa realizando una gestión integral de las plantaciones, esto es, tasa de crecimiento de bosques al año con su correspondiente aprovechamiento y lo que esto significa traducido en términos energéticos utilizando una determinada tecnología.

La consideración de la biomasa como potencial fuente de energía se acentúa enseguida a medida que se toma conciencia del efecto invernadero. El permanente aumento de la concentración de CO₂ en la atmosfera está cambiando progresivamente el clima mundial provocando el aumento de los gradientes de temperatura del planeta y como consecuencia se vieron incrementados los fenómenos climáticos extremos (huracanes, sequías, inundaciones,

tormentas). La energía derivada de la biomasa aparece entonces como un medio para “hacer girar” los átomos de carbono entre los usos energéticos, la atmósfera y las plantas sin ningún tipo de aporte suplementario de CO₂ a la atmósfera.

En este sentido, la biomasa densificada para usos energéticos, como los pellets y las briquetas son al día de la fecha la alternativa más viable económicamente, ya que facilitan el traslado, la manipulación y aumentan la capacidad energética por unidad de volumen, siendo una solución comprobada al problema de la logística.

El mercado mundial del pellets, que toma mayor representatividad en Europa por el alto consumo energético, es una excelente perspectiva para los precursores en materia de bioenergía que decidan invertir y comenzar a producir estos combustibles sólidos. El consejo europeo de pellets, creado en el año 2010, diseñó un sello único para los pellets, en base a normas europeas de calidad. Por esto aquellos interesados en producir para exportar deberán superar con las rigurosas barreras para poder ingresar a dicho mercado.

En la Fig. 2.9 se representa la escalada que tuvo el consumo en el continente europeo hasta el año 2009 cuando la crisis afecto las industrias en general. También es posible ver la sobre capacidad de producción, pero hay incertidumbre en cuanto al abastecimiento de materia prima en el viejo continente.

Cuadro 1 | CONSUMO Y PRODUCCIÓN DE PELLETS DE BIOMASA EN EUROPA.

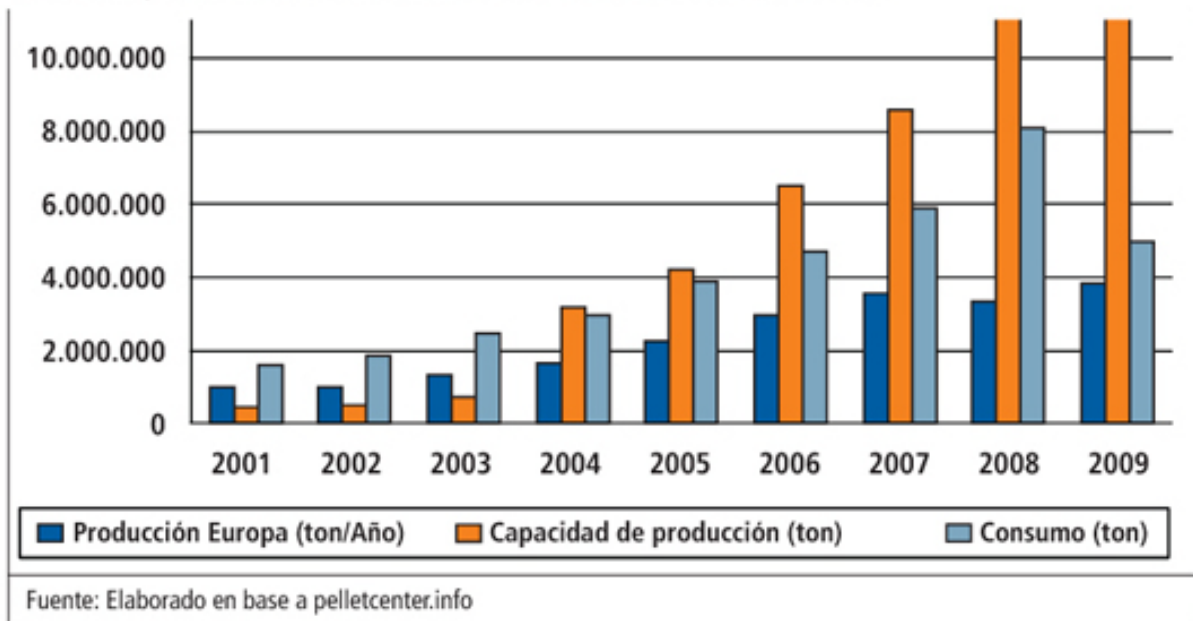


Figura 2.9: Consumo y producción de pellets en Europa. [6]

Actualmente el 40% de la biomasa se usa para industria y el 60% para usos domésticos. Se estima que la producción mundial de pellets crecerá de 12 a 50 millones de toneladas para 2020, y se prevé que EE.UU., Japón y China serán los mayores consumidores para uso industrial, mientras que los europeos se orientarán al uso doméstico

Otro motivador es la sustitución de importaciones de combustibles, como el Gas Natural, reemplazándolo por combustibles sólidos hechos en el territorio nacional y con recursos locales.

CAPITULO 3: POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA LOCAL

La Provincia de Tucumán, cuya superficie es la menor en comparación con el resto de las provincias argentinas, dispone de una gran diversidad productiva gracias a sus once microclimas lo que la posiciona como una región estratégica para el desarrollo de la Bioenergía.

Las principales actividades económicas son las industrias de la Caña de Azúcar y del Citrus, por sus grandes extensiones de superficies implantadas y por ser la provincia productora casi exclusiva de estos productos.

En la actualidad existen importantes problemas ambientales por la disposición de los residuos de poda y cosecha de estos cultivos, generando accidentes viales, incendios, inconvenientes en tendidos eléctricos y fundamentalmente problemas de salud en las poblaciones rurales cercana a las plantaciones y en las ciudades más importante. Históricamente el productor primario de estos cultivos le dio el tratamiento menos costoso a sus residuos de cosecha y poda. Esto llevó a las prácticas del fuego para eliminar esta biomasa. En la Fig. 3.1 se observan cenizas de la quema de la poda del citrus en los canchones de una empresa citrícola.



Figura 3.1: Quema de poda de citrus en canchón

El cultivo de la caña de azúcar es energéticamente autosuficiente, teniendo en cuenta que su generación de biomasa contempla 3,9 [t/ha cosechada] de Residuos Agrícola Cañero (RAC) a recuperarse del campo y 12 [t/ha cosechada] de Bagazo disponibles en el Ingenio, resultando un cultivo sumamente interesante para la generación de energía eléctrica. Además la producción de etanol como combustible líquido, y la tradicional elaboración del alimento como es el azúcar, convierten a este cultivo en una actividad sumamente estratégica de cara al desarrollo de la bioenergía en la región.

En la Fig. 3.2 se muestra el residuo agrícola cañero (RAC) que queda disponible en el campo luego de la cosecha.



Figura 3.2: RAC disponible en campo luego de la cosecha de la Caña de Azúcar

Existen otros cultivos industriales en la provincia con muy buena generación de biomasa como ser el citrus y el tabaco. La poda del citrus se realiza una vez al año y se estima una generación de 3 t/ha que quedan en las fincas.

El tabaco es otro cultivo con una importante generación de biomasa luego de realizada la cosecha. Según la especie de que se trate, el residuo puede quedar en el campo o directamente en los secaderos, lugares donde es llevado luego de la cosecha para el curado.

En Tucumán la especie predominante es el Burley, la cual se cosecha la planta entera a diferencia del Virginia que se corta hoja por hoja quedando el tallo (residuo) en el lugar de las plantaciones.

En este estudio se considerará que toda la superficie implantada con tabaco en la provincia es la especie Virginia para asegurar que el tallo, residuo bajo estudio en el caso del tabaco, quede disponible en los campos cosechados, los cuales se encuentran georeferenciados en capas disponibles para su utilización. En la Fig. 3.3 se aprecia la cosecha hoja por hoja de la planta de tabaco.



Figura 3.3: Cosecha del tabaco

Por otro lado, la industria forestal es por excelencia un generador de biomasa de la cual se puede aprovechar las ramas, despuntes y raleos de las plantaciones y bosques obteniendo una generación, según el WISDOM [7] del 10 % del incremento anual por año. En la Fig. 3.4 se muestra la biomasa acopiada producto de raleos y árboles defectuosos de una explotación forestal en Famaillá, provincia de Tucumán.



Figura 3.4: Biomasa producto de podas, raleos y arboles defectuosos en plantación forestales. Foto Ing. Fronterita-Famaillá

Otra fuente importante de generación de residuos son los establecimientos de aserraje y carpintería, donde la generación es alta y los problemas para los empresarios cada vez mayores, por los volúmenes que ocupan en las instalaciones y la falta de políticas para su disposición final. Históricamente la madera fue utilizada para la generación de calor y energía, por su fácil obtención, buen comportamiento energético y fácil manipuleo. Los rendimientos de los aserraderos en general, rondan el 40 o 50%, obteniéndose residuos en forma de viruta, aserrín, costaneros, tacos y varillas. En la Fig. 3.5 se muestra el volumen ocupado por los residuos generados en una de las carpinterías más grande de la ciudad de San Miguel de Tucumán, sin una valorización económica acorde a su potencial.



Figura 2.13: Residuo de carpintería en las instalaciones del establecimiento ubicado en San Miguel de Tucumán.

En este proyecto no se tendrá en cuenta la biomasa forestal por la falta de información georeferenciada de la ubicación de los bosques y plantaciones forestales. Si bien los aserraderos y carpinterías, generadores de residuos forestales, se ubican en las ciudades, no se encontró un criterio para estimar la posición de dichos establecimientos y vincularlo a la metodología a utilizarse en el estudio.

Tomando como referencia estudios como el Woodfuel Integrated Supply, Demand Overview Mapping (WISDOM)- Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles, realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en conjunto con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTA), la Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentos, la Secretaría de Energía y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, se observa en el informe técnico publicado, la disponibilidad y potencialidad de la Provincia de Tucumán para el desarrollo de proyectos relacionados a la bioenergía. Dicho informe sirvió de base para el impulso de programas nacionales para el desarrollo de la bioenergía, como es el caso del programa PROBIOMASA, cuyo objetivo es el fomento y la promoción de la energía derivada de la biomasa, entre otros.

En la Tabla 3.1 se muestra la cantidad de residuos biomásicos por actividad y por provincia, y se ve que Tucumán, a pesar de ser la provincia con menor extensión, es la que cuenta con mayor disponibilidad de biomasa residual proveniente de actividades agro y foresto industriales, alcanzando 1.694.774,5 toneladas de biomasa en base seca por año contra las 800.000 toneladas por año en las mismas condiciones de las provincias de Mendoza y Misiones que le siguen en volúmenes generados. Aunque se requeriría un estudio en mayor profundidad para determinar el tipo de biomasa y su capacidad para generar energía, estos son indicadores auspiciosos para la instalación de plantas de adecuación de biomasa en la provincia de Tucumán.

Tabla 3.1: Residuos por actividad y por cada provincia

Provincia	Residuos de poda de cítricos	Residuos de poda de vid	Residuos de poda de otros Frutales	Residuos poda de olivo	Residuos Arroz en campo	Residuos Agrícolas Cañeros (RAC)	Residuos de Bagazo no utilizados	Residuos cáscara maní	Residuos Industria Arrocera	Residuos desmote Algodón	Residuos de orujo de oliva	Residuos de aserraderos	Total
BS.AS.	16300,2	78	37658,8	0	0	0	0	0	0	0	0	17399	71436
CAP.FEDERAL	0	0	0	0	0	0	0	0	5378	0	0	0	5378
CATAMARCA	5747,1	9315,3	28025	91741,9	0	62,5	32003	0	0	0	25448	127	192469,8
CHACO	231,9	0	403,7	0	10765	0	0	0	0	34736,6	0	16702	62839,2
CHUBUT	0,3	23,8	2209,6	0	0	0	0	0	0	0	0	1143	3376,7
CORDOBA	204	710,9	6377,8	0	0	0	0	180011	0	319,4	0	3810	191433,1
CORRIENTES	73706,7	0	662,8	0	173621	0	0	0	29046	5856,7	0	516984	799877,2
ENTRE RIOS	141849,9	41,9	2321	0	144585	0	0	0	84450	0	0	160445	533692,8
FORMOSA	3303,6	0	16,8	0	12303	0	0	0	0	2172	0	12759	30554,4
JUJUY	20134,8	206,6	4533,3	0	0	161640,6	85285	0	0	159,7	0	7527	279487
LA PAMPA	0	285,1	2722,5	0	0	0	0	0	0	0	0	1397	4404,6
LA RIOJA	554,1	21846	22845,8	98331,2	0	0	0	0	0	0	48193	0	191770,1
MENDOZA	0	361502,7	296597,2	35785,7	0	0	0	0	0	0	114399	4572	812856,6
MISIONES	24887,1	0	1076,8	0	769	0	2736	0	2648	0	0	840935	873051,9
NEUQUEN	0	2130,6	46776	0	0	0	0	0	0	0	0	2794	51700,6
RIO NEGRO	0	4768,2	221828,8	0	0	0	0	0	0	0	0	3302	229899
SALTA	17406,3	5093,6	3243,5	0	0	52609,4	135089	0	0	2737,9	0	55021	271200,7
SAN JUAN	12,6	113515,8	26591,8	16272	0	0	0	0	0	0	45490	2032	203914,2
SAN LUIS	3	0	192,9	0	0	0	0	0	0	6342,7	0	762	7300,6
SANTA CRUZ	0	0	1100,2	0	0	0	0	0	0	0	0	381	1481,2
SANTA FE	1572,3	0	3671,1	0	46907	0	19847	0	6111	1985	0	6350	86443,4
S..E STERO	1986	49,4	310,2	0	0	4500	0	0	0	0	0	11742	18587,6
T. FUEGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	254	254
TUCUMAN	102872,1	123,9	2435,1	0	0	697359,4	881011	0	0	0	0	10973	1694774,5
Totales	410772	519691,7	711600,8	242130,8	388950	916171,9	1155971	180011	127633	54310	233530	1677411	6618183,2

Fuente: Informe WISDOM - Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles” (Woodfuel Integrated Supply / Demand Overview Mapping) MAYO 2009

CAPITULO 4: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE ADECUACIÓN DE BIOMASA

La planta de adecuación de biomasa tendrá como principal función la de recibir la materia prima, caracterizarla y adecuarla para valorizarla de la manera más conveniente.

Se habla de valorización cuando se le da un tratamiento de homogeneización, densificación, secado, para poder darle un valor comercial.

En la planta se recibirá la materia prima tal y como la pueda entregar el productor primario, en caso de que éste realice alguna gestión de sus residuos. Si actualmente no se le realiza ninguna gestión y quedan dispuestos en el campo, se deberá hacer el estudio de factibilidad económica para realizarle la recolección y el traslado a la planta. Esto incentivará la creación de nuevos eslabones y actores en la cadena de valor de estos productos agro industriales.

La biomasa que se contempla para este proyecto como insumo para la planta de adecuación de biomasa es la detallada en la Tabla 4.1. También se especifica el formato de recepción en puerta de planta, o de recolección de las fincas del productor, y el sector productivo procedente.

Tabla 4.1: Materia prima para la planta de adecuación

Tipo	Sector	Especificación	Formato de recepción en planta
RAC	Azucarero	Despunte y hojas de caña de azúcar	Fardos
Poda	Citrícola	Ramas y hojas de la planta de Citrus	Chipeado o en las condiciones que se generan
Tallos	Tabacalero	Tallo de la planta del tabaco	En las condiciones que se genera

La Figura 4.1 muestra el diagrama de flujo de una planta de adecuación de biomasa.

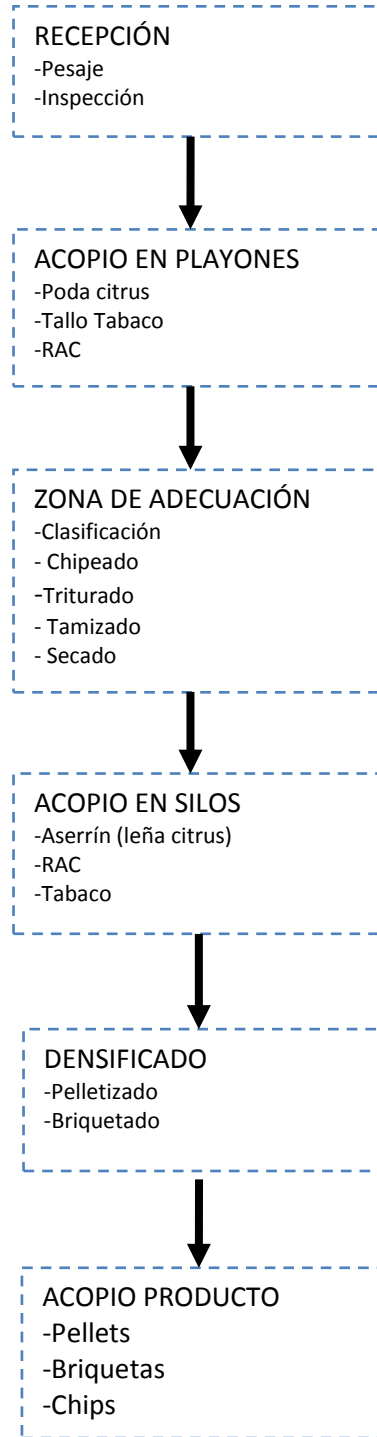


Figura 4.1: Diagrama de flujo planta de adecuación de biomasa

A continuación se describe los diferentes pasos del proceso de adecuación de biomasa.

Recepción:

La recepción se realiza en puerta de planta, donde se pesa la carga y se hace una inspección ocular al momento de descargar. Dicha inspección consiste en corroborar que toda la carga pesada y descargada sea de la misma naturaleza, ya que la planta no acepta mezclas de biomasa debido a la imposibilidad de caracterizar y valorizar.

Acopio en Playones:

La biomasa bruta tal como llega del campo es acopiada en playones como los que muestra la Fig. 4.2. Se dispone de unos compartimentos para el acopio por separado del tipo de biomasa, evitando así la mezcla entre las distintas materias primas y la dispersión por la planta de aquella biomasa de baja densidad. Acá estarán a la espera de ser procesadas.

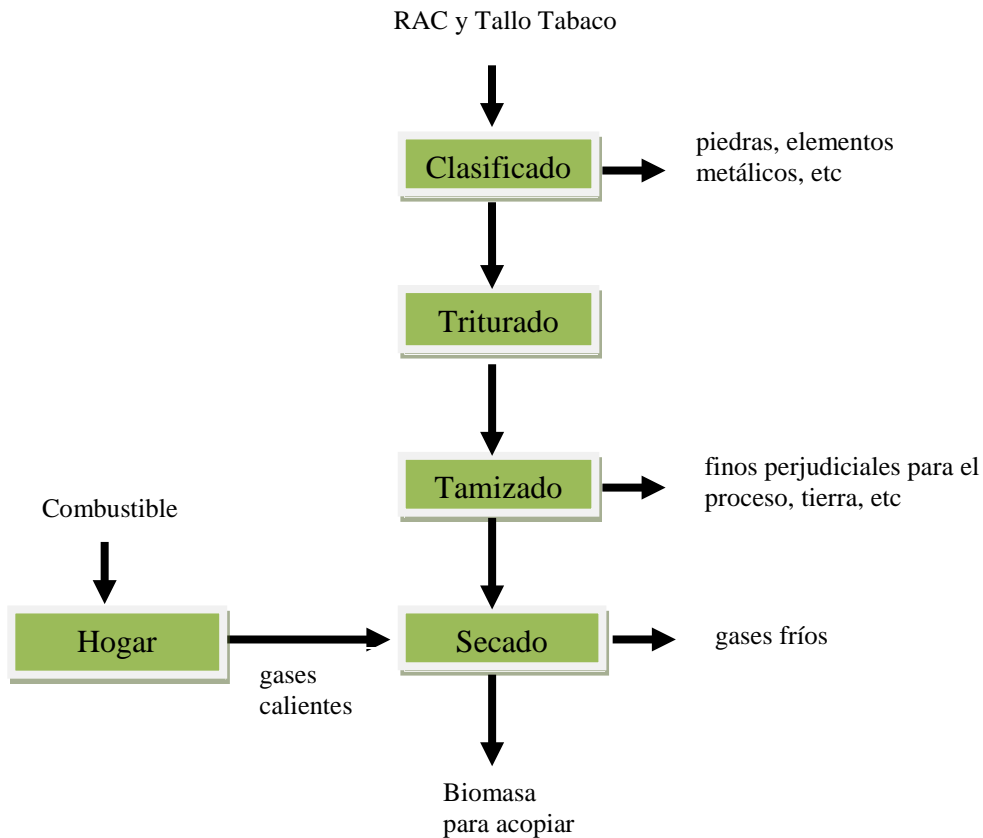


Figura 4.2: Compartimentos para el acopio de diferentes biomasa. CENER Navarra, España.

Zona Adecuación:

Esta zona se encarga de dejar la biomasa en condiciones óptimas para ser acopiada y luego procesada. Compuesta por varios subprocesos, algunos comunes a las dos líneas y otros exclusivos para cada producto final (pellet o briqueta).

a) Residuo Agrícola Cañero y Tabaco



Clasificado: En este proceso ingresa la biomasa luego de haber sido acopiada en las condiciones en que fue recolectada del campo. El objetivo de este paso es eliminar todo agente contaminante que pueda venir en la materia prima. Los principales problemas son los materiales de hierro o piedras que puedan romper los elementos de corte de los equipos. Para ello se dispone de un separador

magnético para los elementos ferrosos y de ventilador en contra corriente para el resto de los sólidos de alta densidad como piedras, cerámicas, etc.

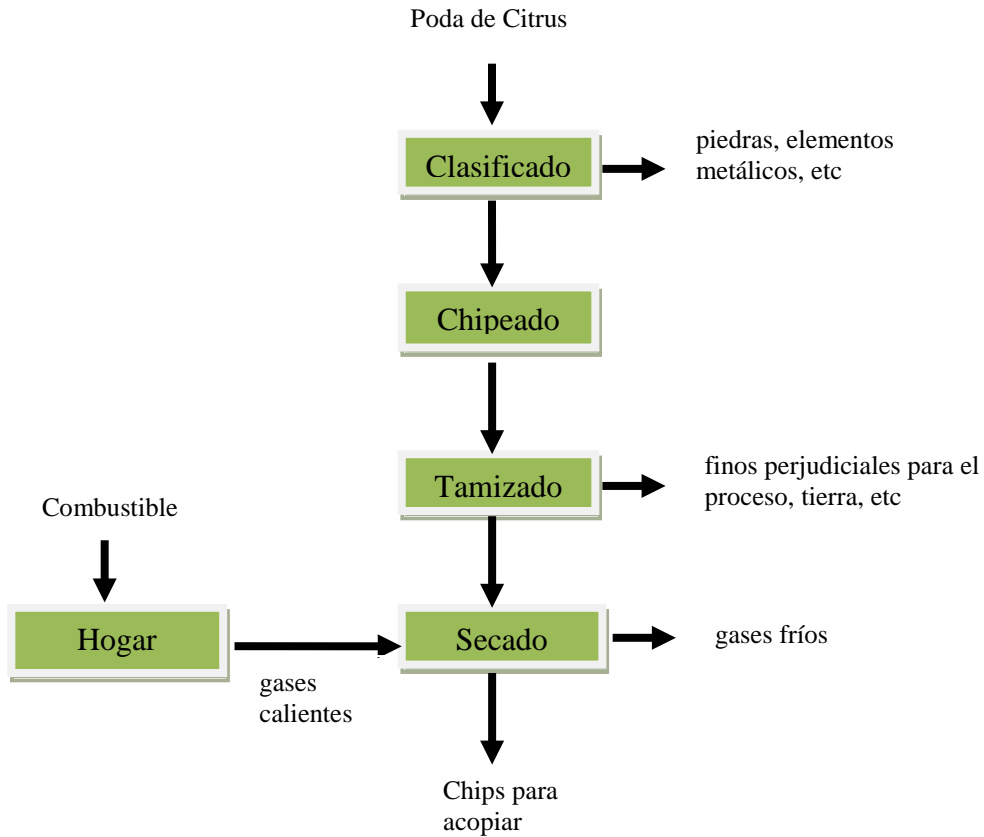
Triturado: Este paso es para homogeneizar las dimensiones del material y reducir la granulometría del mismo para facilitar el proceso de compresión y compactación que sufrirá en el briqueteado. Este proceso es exclusivo para la línea de briquetas y consiste en desmenuzar el material fibroso que ingresa (hojas y despunte de caña de azúcar, tallo del tabaco) para lograr una mejor compactación en el conformado del producto. A la salida de este proceso se obtiene tamaño de partículas del orden de 0,5 a 2,5 centímetros.

Tamizado: Sirve para eliminar aquellos finos indeseados generados en el paso anterior que puedan ser perjudicial para el proceso, además de otros tipos de materiales que arrastre la biomasa del campo como tierra o arena. Este equipo está compuesto por tamices con orificios de 0,5 centímetros de diámetro que eliminan aquellas partículas de dimensiones menores. Dichas partículas son perjudiciales para el proceso de compresión ya que al disminuir la granulometría existen menos intersticios (espacios entre partículas) en el momento de la compresión, lo que origina una mayor fuerza de roce entre el material a comprimir y las paredes del equipo compresor pudiendo producir el atasco de la máquina.

Secado: Dependiendo de las condiciones de humedad que haya traído la biomasa del campo, y del tiempo de acopio en los playones, es que se evaluará la necesidad de ser secado a través de un horno rotativo donde se inducen gases calientes para así disminuir el contenido de humedad de la biomasa. Generalmente la biomasa llega a la planta con una humedad del 40% al 60% debiendo ser secada hasta valores que oscilan entre el 8% y el 15%.

Para la extracción de humedad en el horno rotativo se hacen pasar gases caliente (aire), los cuales se generan en un hogar quemando *chips* de madera.

b) Poda del Citrus



Clasificado: Mismo proceso del Tabaco y del RAC.

Chipeado: Este paso es para homogeneizar las dimensiones del material y reducir la granulometría del mismo, para facilitar el proceso de compresión y compactación que sufrirá en el pelletizado. Lo que ingresa es la poda del citrus, compuesta por troncos, ramas y hojas de la planta.

La chipeadora es una maquina con elementos móviles giratorios de gran capacidad de corte, realizando en los troncos y ramas cortes hasta dejar piezas de aproximadamente unos 2,5 centímetros de lado y hasta un centímetro de espesor. Estas piezas son los denominados *Chips*. Las hojas que acompañan las ramas no sufren mayores modificaciones en sus dimensiones. Ver Fig. 2.4 y 2.6.

Tamizado: Mismo proceso del Tabaco y del RAC.

Secado: Dependiendo de las condiciones de humedad que haya traído la biomasa del campo, y del tiempo de acopio en los playones, es que se evaluará la necesidad de ser secado a través de un horno rotativo donde se inducen gases calientes para así disminuir el contenido de humedad de la biomasa. Generalmente la biomasa llega a la planta con una humedad del 40% al 60% debiendo ser secada hasta valores que oscilan entre el 8% y el 12%.

Para la extracción de humedad en el horno rotativo se hacen pasar gases caliente (aire), los cuales se generan en un hogar quemando *chips* de madera.

Acopio en Silo:

Una vez adecuada la biomasa para ser transformada en el producto final se acopiará en silos que servirán de pulmón para el proceso. Es decir, el silo le dará la autonomía a la planta para que pueda operar durante un tiempo determinado sin necesidad que esté ingresando biomasa a la misma constantemente. Para esta planta se dispondrán silos para acopiar el triturado del RAC y del Tabaco y el *chip* de la Poda del Citrus. Luego habrá un sistema de transporte integrado para hacer mezclas entre los tres tipos de biomasa en caso que se desee.

Densificado:

La planta contará con una línea de pelletizado y otra de briqueteado, la primera para la poda del citrus, y la segunda para los residuos agrícolas cañeros y los tallos de tabaco. A continuación se hace una descripción de ambas líneas.

❖ **Pelletizado**

- Molino de Martillo: en este equipo se muele el aserrín para dejarlo de la granulometría óptima para ser pelletizado, 4 milímetros diámetro de partícula para pellets de 6 mm de diámetro, que son los más usados generalmente.

- Acondicionador: este equipo es el paso previo al pelletizado. Lo que se logra en este proceso es el caudal de aserrín admisible por el juego de matriz-rodillo, y el agregado de aditivos para una buena formación del pellets, como ser agua, vapor, lignina, dependiendo de la materia prima que se vaya a pelletizar.
- Pelletizado: este equipo es donde se realiza la compresión y extrusión de la materia prima y donde se conforma el pellets. Para ellos se necesita de dos componentes, uno móvil y el otro fijo. El fijo es una matriz anular o plana agujereada y el componente móvil un juego de dos rodillos que ejercen una fuerza de compresión sobre el aserrín haciendo que el material pase a través de los orificios de la matriz. En la Fig. 4.3 se observan estos componentes. Durante esta extrusión que sufre la materia prima, se alcanzan temperaturas de 90 a 120°C logrando que la madera desprenda una lignina que hace las veces de aglutinante natural produciendo en el pellets una especie de plastificado lo que lo favorece luego para el manipuleo evitando el deterioro y la pérdida de material.



Figura 4.3: Prensa pelletizadora donde se observa la matriz plana y los rodillos

- Enfriador de Pellets: Los gránulos de pellets salen de la prensa a una temperatura de unos 88°C y poseen un contenido de humedad que ronda el 17-18%. Se debe reducir su temperatura y humedad hasta valores cercanos a la temperatura ambiente con un nivel de humedad del 10-12% o inferior para su manipulación y almacenamiento adecuados. Por tanto, es necesario enfriar y secar los pellets inmediatamente tras la granulación.

❖ **Briqueteado**

- Mezclado: una vez homogeneizado y obtenido el material en la granulometría adecuada para esta operación se debe agregar el aditivo para lograr una buena compactación y aglutinación de la mezcla. Si se trata de residuos leñosos no hace falta ya que la propia lignina de la madera provee esta característica, pero en este proyecto se producirán a partir de los residuos de la caña de azúcar y del tabaco, por lo que habrá que tener en cuenta este paso previo al briqueteado.
- Briqueteado: después de mezclado el material, la fabricación de briquetas se realiza en la prensa de briquetas la cual está conformada por dos cilindros compresores accionados de manera neumática o hidráulica que trabajan en dirección perpendicular uno al otro.

En la Figura 4.4 se muestra una briqueteadora estándar.



Figura 4.4: Briqueteadora

Embolsado y Despachado:

Listas las briquetas y los pellets, serán embolsados para su comercialización. No será la única forma de hacerlo, pudiendo ser vendidos a granel en el caso del pellets, ver Fig. 4.5 y en fardos en el caso de la briqueta como se ve en la Fig. 4.6.



Figura 4.5: Camión cargador de pellets a granel



Figura 4.6: Fardo de briquetas

CAPITULO 5: UBICACIÓN ZONAS APTAS PARA UNA PLANTA DE ADECUACIÓN DE BIOMASA (PAB)

En este capítulo se desarrolla una metodología para encontrar las zonas aptas para la instalación de una planta de adecuación de biomasa (PAB) que tiene en cuenta no solamente aspectos económicos sino también ambientales y sociales. Se utilizó un software de Sistema de Información Geográfica como herramienta para la toma de decisión.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés Geographic Information System) es una integración organizada de *hardware*, *software* y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística por nombrar unos pocos. Por ejemplo, un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, o para encontrar los humedales que necesitan protección contra la contaminación, o pueden ser utilizados por una empresa para ubicar un nuevo negocio y aprovechar las ventajas de una zona de mercado con escasa competencia.[8]

En la Fig. 5.1 se muestra el modelo conceptual y los diferentes análisis que se realizaron en este trabajo.

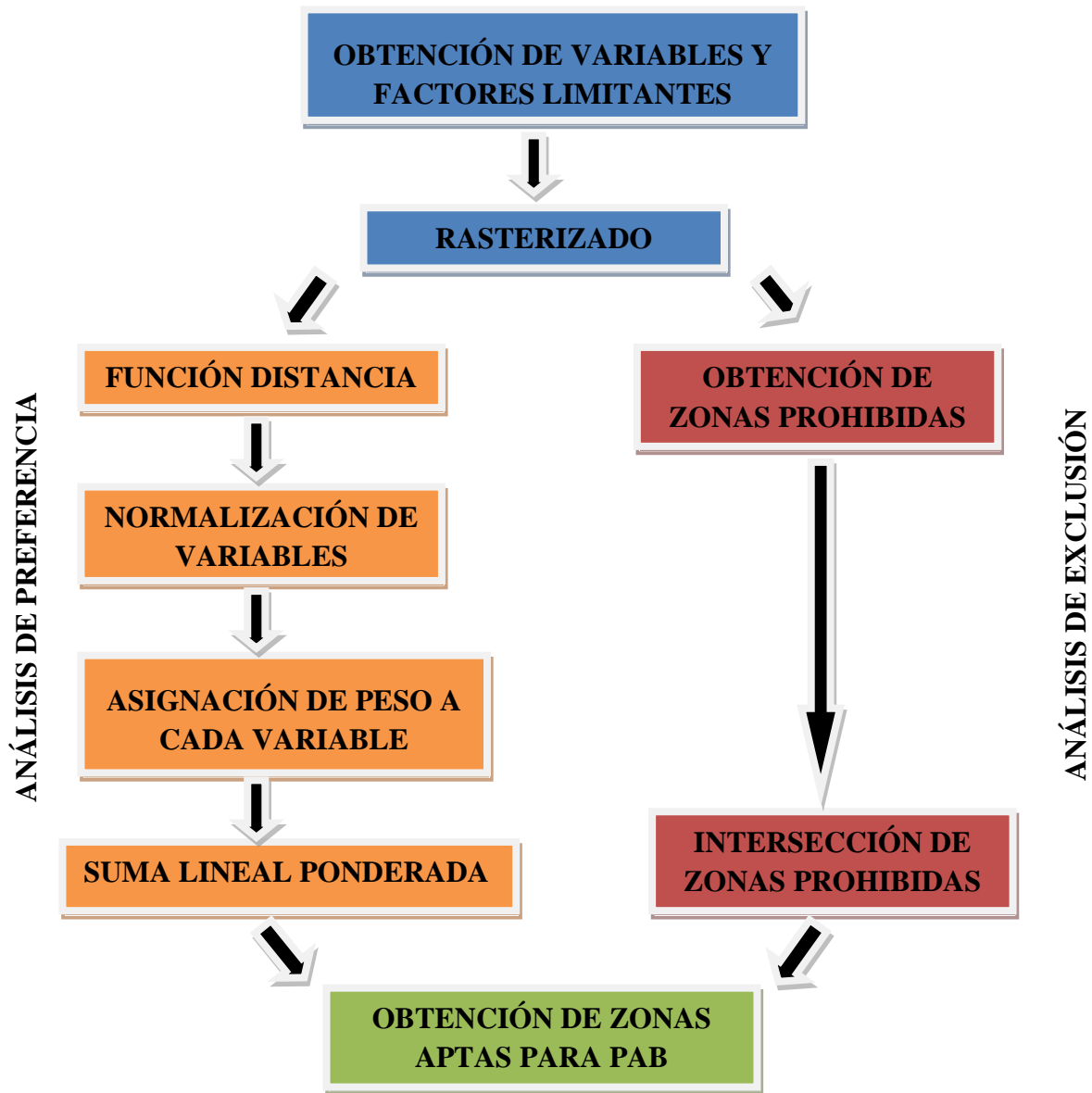


Figura 5.1: Diagrama de flujo del modelo conceptual y los diferentes análisis realizados

5.1 *Obtención de Variables y Factores Limitantes*

Se hizo un análisis previo para determinar las variables críticas para la instalación de una planta de las características descritas en el capítulo anterior y se obtuvieron los datos necesarios referidos a dichas variables. Los datos se encuentran como mapas georeferenciados que contienen información relacionada a las variables que son importantes para aplicar la metodología objeto de este trabajo. Georeferenciación es básicamente una técnica geográfica, que consiste en asignar mediante cualquier medio técnico apropiado, una serie de coordenadas geográficas procedentes de una imagen de referencia conocida, a una imagen digital de destino. Estas coordenadas geográficas reemplazaran a las coordenadas graficas propias de una imagen digital en cada píxel, sin alterar ningún otro atributo de la imagen original.

Los mapas georeferenciados, también llamados capas, se obtuvieron del sitio web de la Red de Información para el Desarrollo Productivo de Tucumán (RIDES) [9] perteneciente al Ministerio de Desarrollo Productivo de la Provincia de Tucumán y del sitio web Infraestructura de Datos Espaciales de Tucumán (IDET). [10]

En la Tabla 5.1 se enumeran las variables y factores tenidos en cuentas para el análisis.

Tabla 5.1: Variables y factores limitantes en el análisis

CRITERIO	CARACTERÍSTICA
1-Localidades y Urbanizaciones	Variable y factor limitante
2- Rutas	Variable y factor limitante
3- Ríos	Factor limitante
4- Cobertura de Caña de Azúcar	Variable
5- Cobertura de Citrus	Variable
6- Cobertura de Tabaco	Variable

Es muy importante que estas capas o mapas con datos, llamadas también criterios seleccionados, sean representativos y concretos, orientados a la solución del problema. No deben estar correlacionados.

La limitación del número de capas de 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. En la Fig. 5.2 se muestra el mapa departamental del la provincia de Tucumán, el cual se rasterizó y se usó como referencia para el resto de las capas utilizadas en el análisis. En la sección 5.2 se explica este procedimiento.



Figura 5.2: Mapa departamental provincia de Tucumán. Referencia para el rasterizado.

En la Fig. 5.3 la información existente se presenta como manchas en color cian y representan la ubicación geográfica de los pueblos y localidades de la provincia. La misma se utilizó como factor limitante y además como variable para la elección de las zonas óptimas de emplazamiento de una PAB.

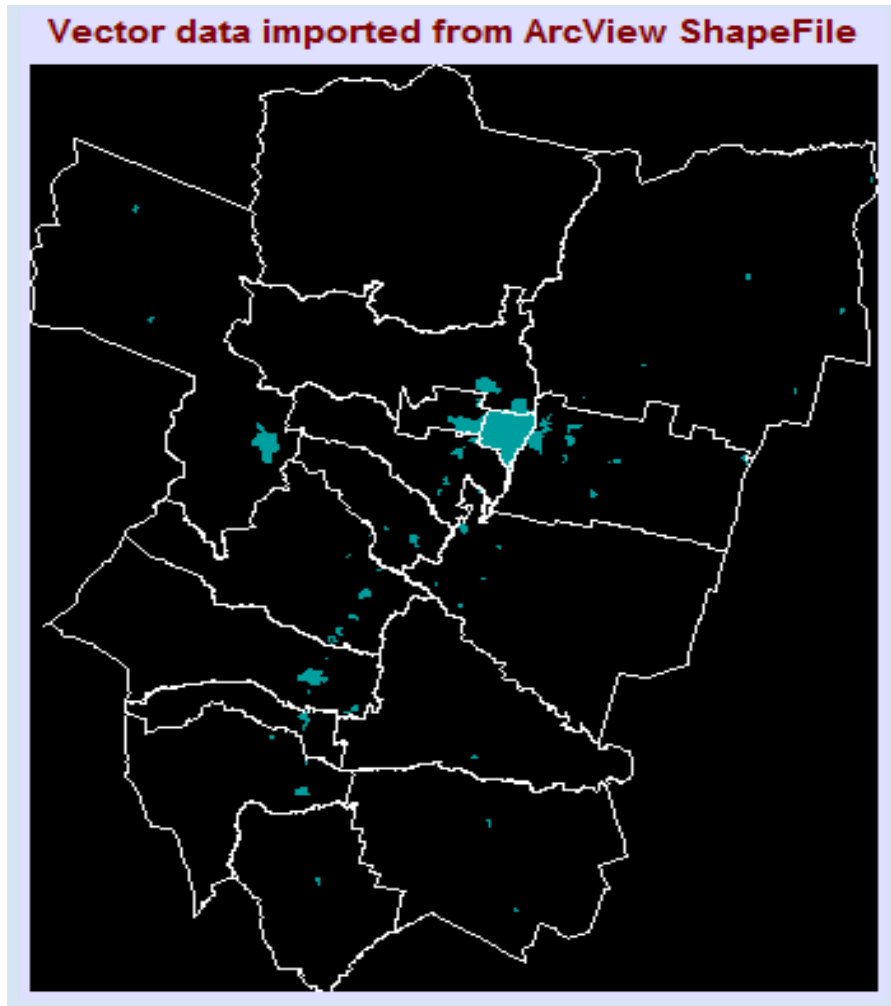


Figura 5.3: Capa de “Localidades y Urbanizaciones” que tiene la característica de variable y factor limitante.

La Fig. 5.4 nos muestra la capa con información del trazado de las rutas nacionales y provinciales en todo el territorio provincial, llamada “Rutas”. Al igual que la capa de “Localidades y Urbanizaciones”, la capa “Rutas” se utilizó como factor limitante y como variable de selección para las zonas aptas de una PAB.

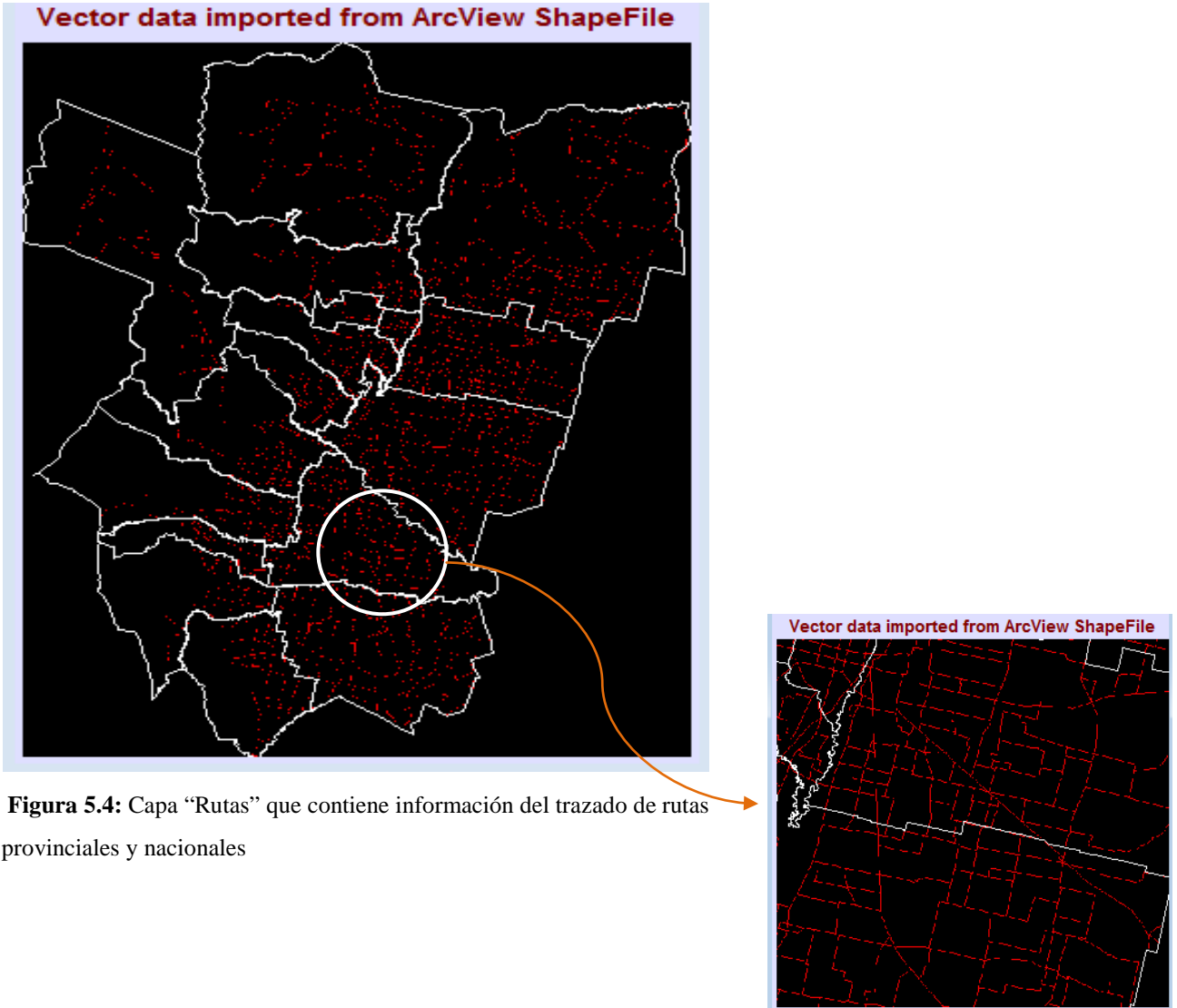


Figura 5.4: Capa “Rutas” que contiene información del trazado de rutas provinciales y nacionales

La Fig. 5.5 corresponde a la capa con información referida al curso de los ríos del territorio provincial, llamada “Ríos” la cual afecta el análisis excluyendo aquellas zonas en donde existen cursos de agua, es decir, solo se utilizó como factor limitante para la obtención de zonas prohibidas ya que dichos espacios quedan excluidos para la localización de las empresas consideradas en este estudio.

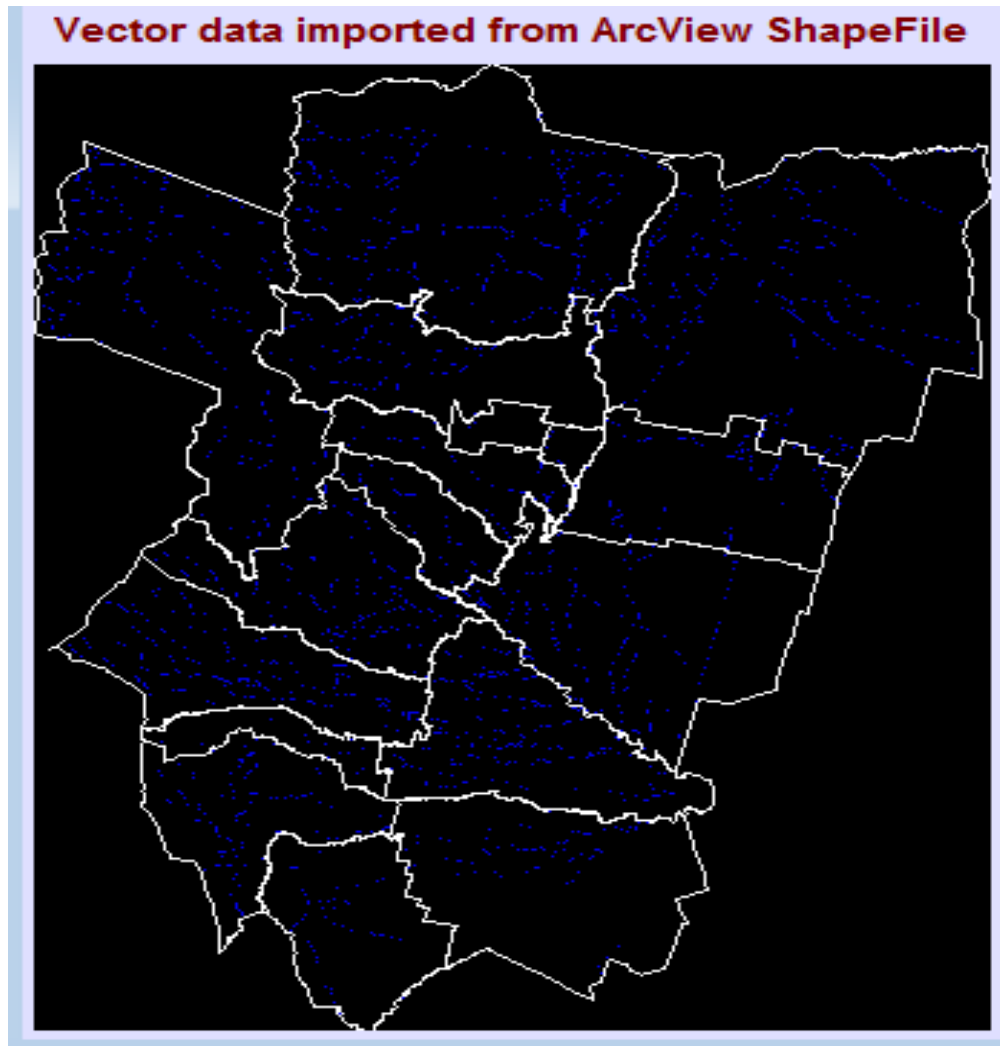


Figura 5.5: Capa “Ríos” que contiene información del curso de los ríos.

La ubicación geográfica de los cultivos generadores de biomasa residual es la principal variable para este análisis, ya que la viabilidad del proyecto depende de la logística de dichos residuos, de su ubicación, de la tasa de generación por hectárea y por año y de la proximidad a rutas, ciudades y servicios en general.

En este trabajo se tuvo en cuenta las superficies implantadas con caña de azúcar, citrus y tabaco, aunque la estrategia utilizada es expansiva a la ubicación de cualquier tipo de cultivo que se quiera utilizar, y más aun para cualquier tipo de planta industrial ya que igualmente se podrá considerar tanto las necesidades de materia prima como las restricciones que se apliquen a la industria.

En la Fig. 5.6 representa la capa con información geográfica de la ubicación de las plantaciones de caña de azúcar, llamada “Cobertura de Caña de Azúcar”. No se hace distinción de los rendimientos de las plantaciones de acuerdo a las especies de las plantas, pero a los fines de aprovechamiento de los residuos y de desarrollar una metodología, es válido pensar la caña implantada en la provincia de un mismo tipo.

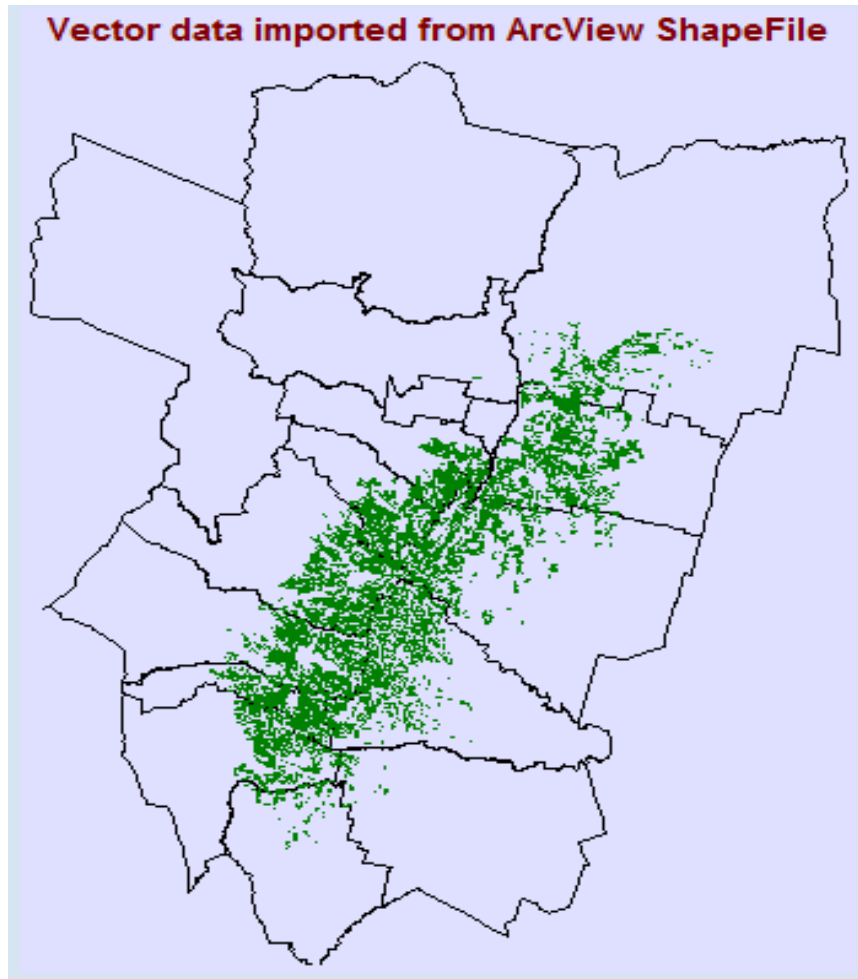


Figura 5.6: Capa “Cobertura de Caña de Azúcar”.

La Fig. 5.7 representa la capa con información geográfica de la superficie implantada con citrus en la provincia de Tucumán, llamada “Cobertura de Citrus”.

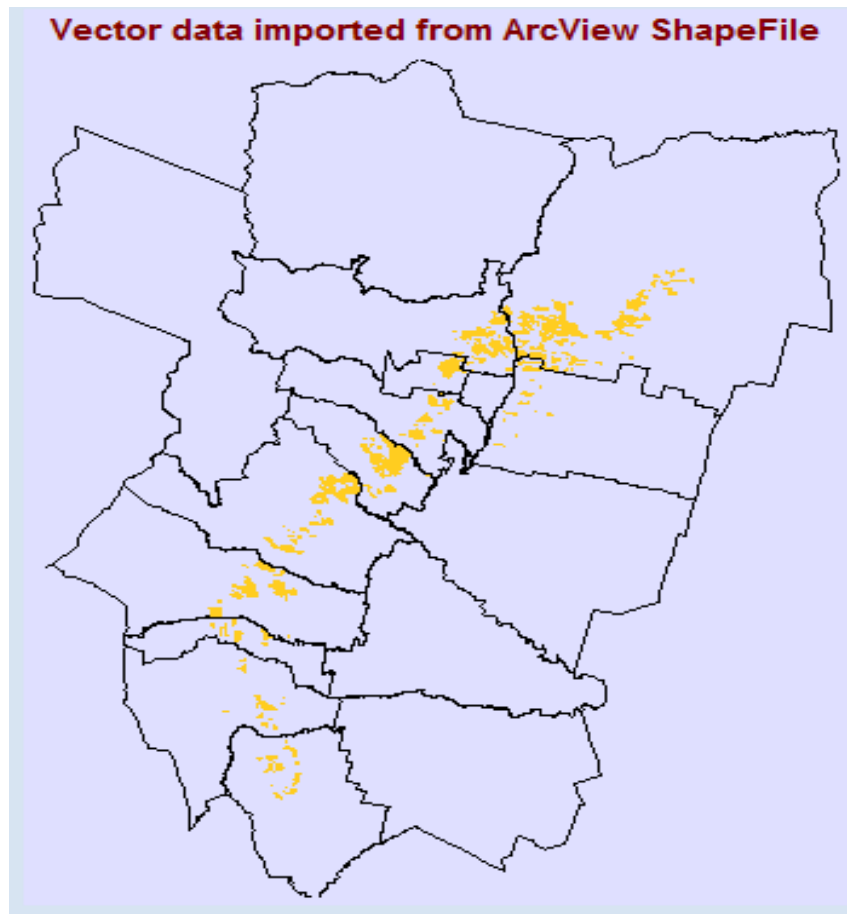


Figura 5.7: Capa “Cobertura de Citrus”.

La Fig. 5.8 representa la capa con información geográfica de la superficie implantada con tabaco en la provincia, llamada “Cobertura Tabaco”. En este estudio se consideró que todo el tabaco que se produce en la provincia es de la especie Virginia, la cual por su sistema de cosecha deja como residuo en el campo el tallo de la planta, por lo que se debe considerar su distribución espacial para su recolección.

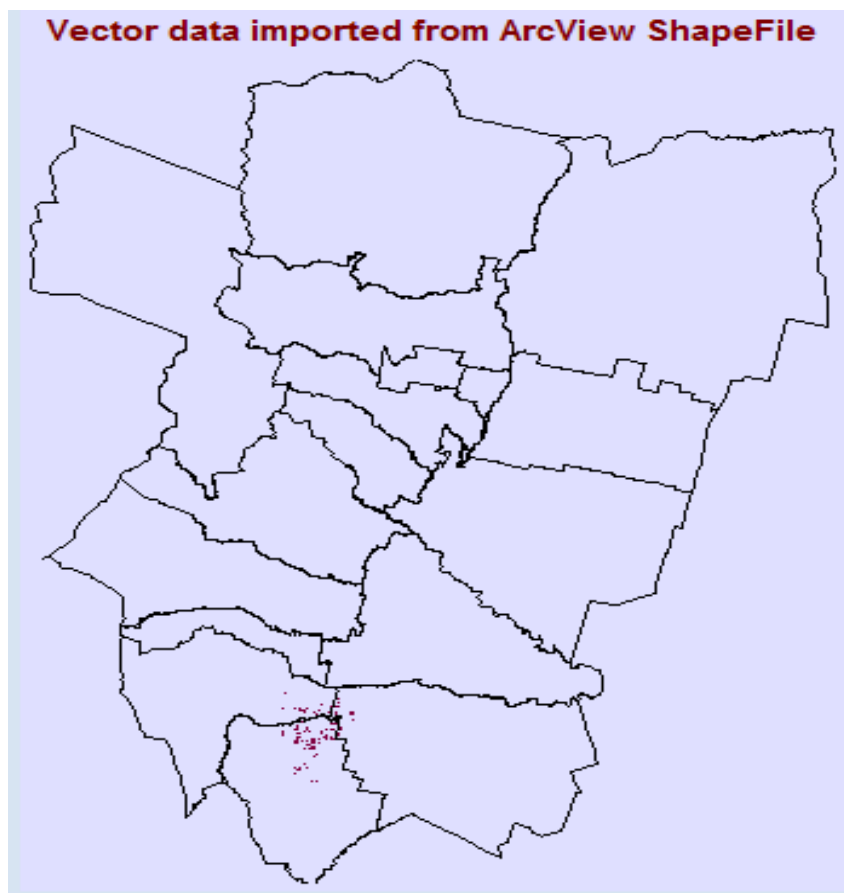


Figura 5.8: Capa “Cobertura de Tabaco”.

5.2 Rasterizado del mapa departamental de la provincia de Tucumán

El rasterizado consiste en dividir en celdas o pixels todo el territorio que se quiera poner bajo estudio, en este trabajo se realizó en toda la Provincia de Tucumán. Se propone adoptar la mínima unidad o celda equivalente a una hectárea (100 metros x 100 metros).

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 esta matriz, es decir ahora cada una de las capas que contienen información de las variables fueron particionadas en celdas o pixels de una hectárea de superficie. Cabe destacar que las celdas podrán contener información o no. Por ejemplo una vez rasterizada la capa de “Localidades y Urbanizaciones” las celdas que caigan sobre una ciudad, pueblo o asentamiento urbano tendrán información y las que se ubiquen sobre cualquier otro sitio despoblado no contendrán información.

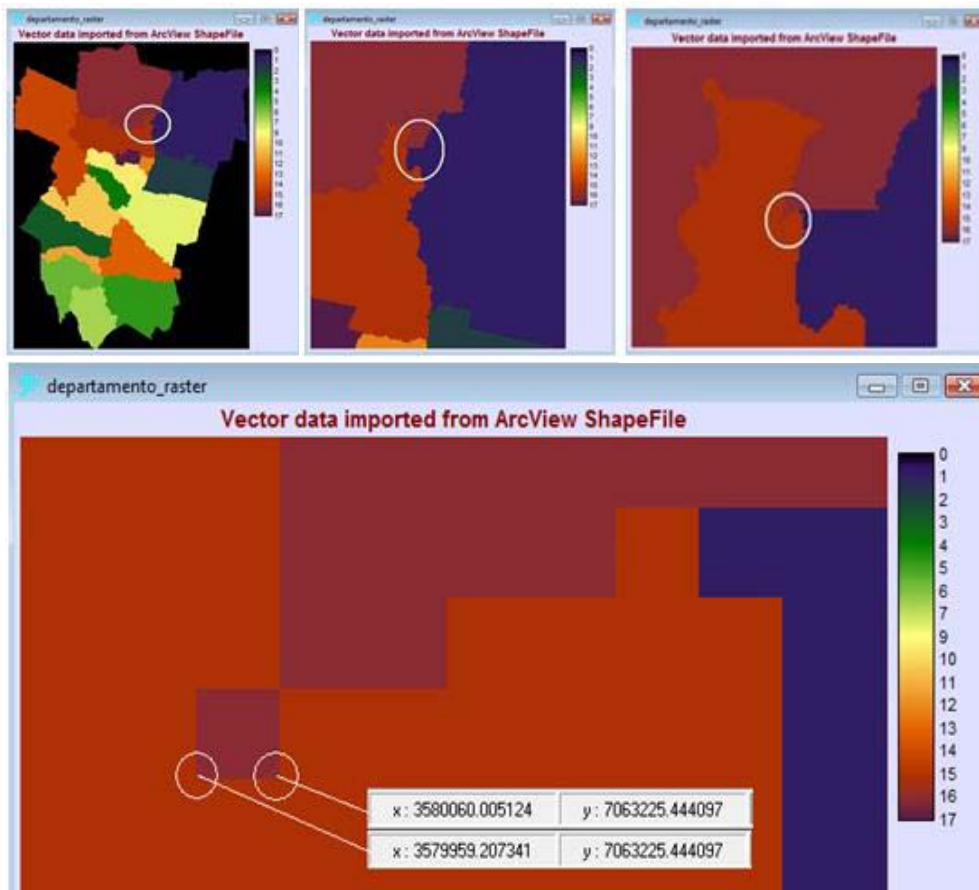


Figura 5.9: Sucesión de ampliaciones del mapa departamental hasta distinguir el pixel. Se observa lado del pixel aproximadamente 100 metros

De este modo se obtienen capas binarias donde el valor 1 es asignado a las celdas que contienen información y el valor 0 es asignado a las celdas que no contienen información. En la Fig. 5.9 se muestra con distintos niveles de ampliación, las coordenadas de los extremos de un pixel donde se puede apreciar una distancia de 100 metros.

A la i -ésima celda o pixel la denotaremos con la letra X_i que representa todas las celdas de una hectárea de superficie del territorio de la provincia de Tucumán donde i varía desde 1 hasta N , siendo N en número total de celdas contenidas en el mapa rasterizado de la provincia de Tucumán.

5.3 *Análisis de Preferencia*

5.3.1 *Función Distancia*

Este análisis se le realiza a cada uno de los criterios elegidos, y consiste en calcular las distancias entre las celdas con información y todas las demás celdas de una capa. Por ejemplo, si se realiza el análisis de preferencia para la variable Cobertura de Citrus, se calcula la distancia que hay entre cada una de las celdas a aquellas donde hay citrus implantado, y se reclasifica la celda con el valor de distancia a la celda más cercana con información, este es un valor en metros.

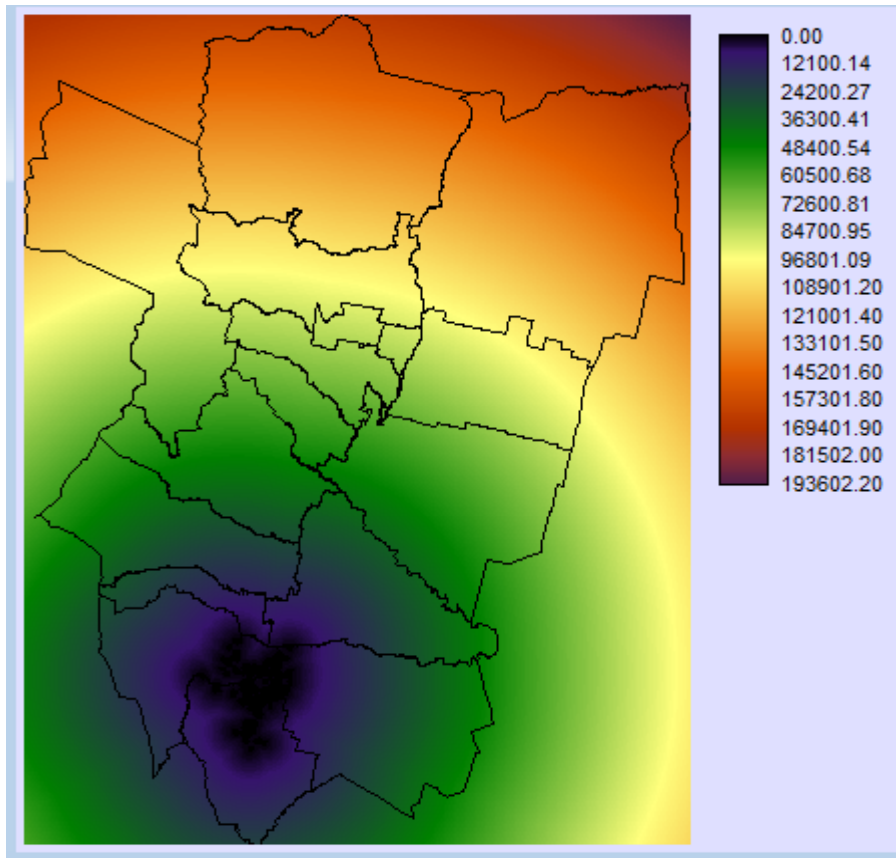


Figura 5.10: Capa distancia a las plantaciones de Tabaco

En la Fig. 5.10 se puede observar la capa de “Cobertura de Tabaco” rasterizada y con el análisis de distancia realizado donde se reclasifica y se pinta de colores las celdas según la distancia a los cultivos de Tabaco. La leyenda que se observa al costado del mapa de Tucumán representa la distancia de cada una de las N celdas de esta capa a la superficie implantada con tabaco, reclasificándose o pintándose de distinto color según la cantidad de metros existentes entre la celda en cuestión y la celda con tabaco más cercana.

La Fig. 5.11 es la capa de “Cobertura de Citrus” con el mismo procedimiento anterior, donde las celdas de color negro representan la ubicación del citrus, y por ende una distancia de cero metros, y luego en un degradé de colores pasando por el violeta, verde, amarillo y rojo para las más alejadas. En esta última capa ya no estamos hablando de una imagen binaria, si no que las celdas tienen un valor que va desde 0 hasta 80.000 metros dependiendo de su ubicación.

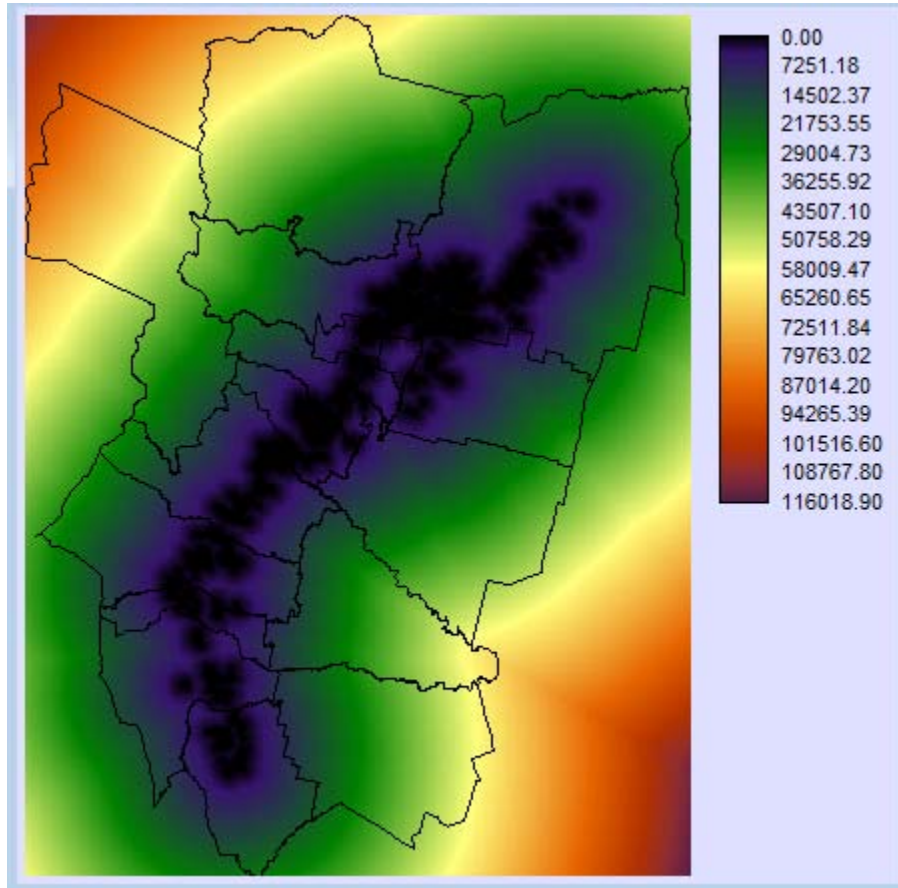


Figura 5.11: Capa distancia a las plantaciones de Citrus.

La Fig. 5.12 se generó a partir del análisis de distancia para la capa “Cobertura de Caña de Azúcar”.

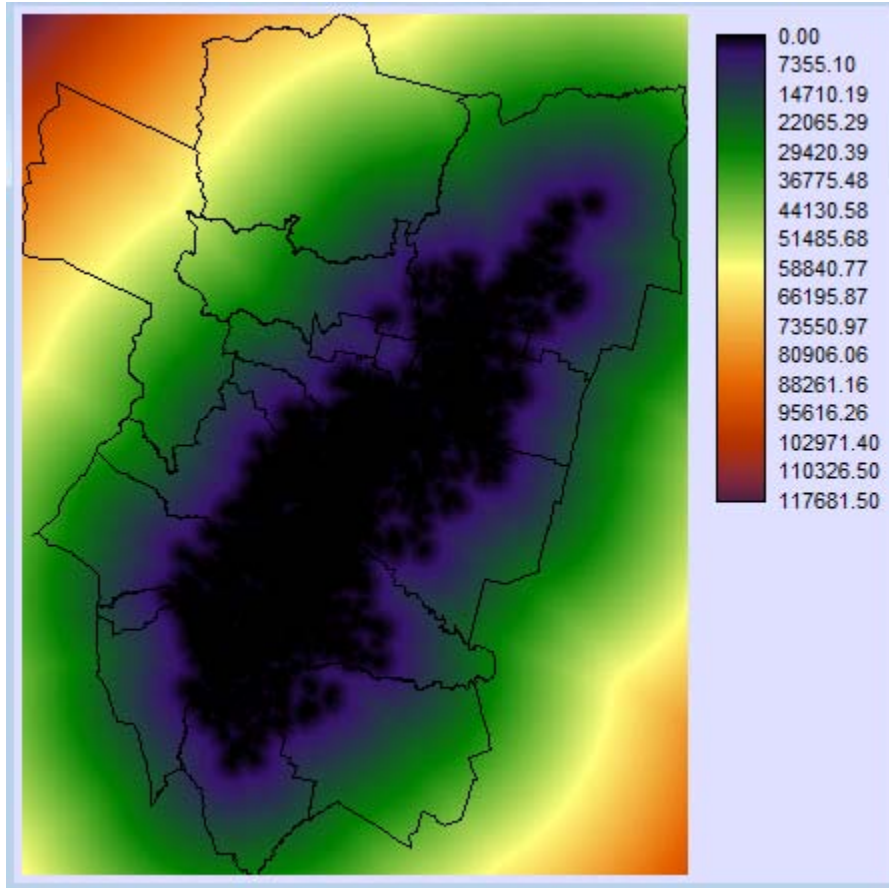


Figura 5.12: Capa distancia a las plantaciones de Caña de Azúcar.

La Fig. 5.13 se generó a partir del análisis de distancia para la capa “Localidades y Urbanizaciones”. La Fig. 5.14 se generó a partir del análisis de distancia para la capa “Rutas”. Ambas imágenes se mostrarán a continuación.

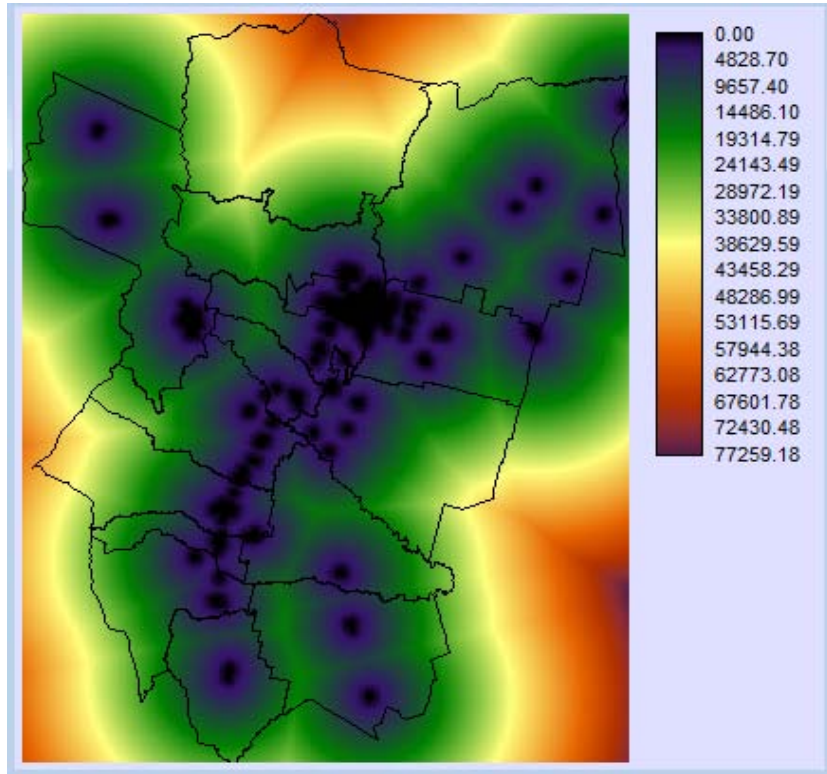


Figura 5.13: Capa distancia a Localidades y Urbanizaciones.

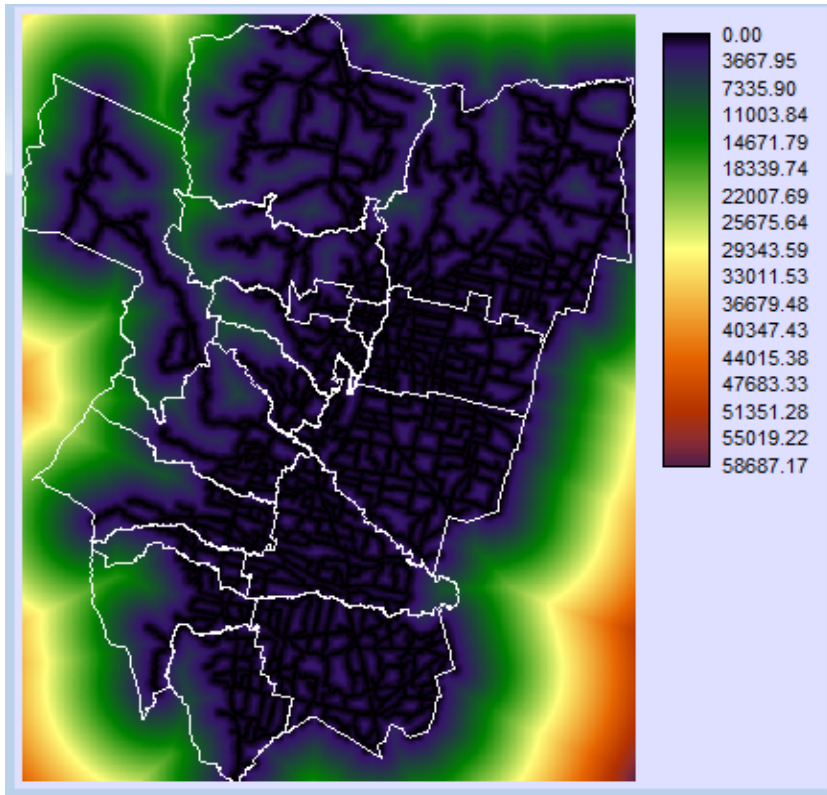


Figura 5.14: Capa distancia a Rutas.

5.3.2 Normalización de las distancias

El paso siguiente fue normalizar las nuevas capas de distancias generadas. Esto significa que cada celda pasa de tener un valor numérico de distancias en metros, que no se pueden evaluar entre las distintas capas, a un valor entre 0 y 1 (continuo) comparable e integrables en un modelo de ponderación lineal, siendo 1 el mejor valor y 0 el peor. Dicho de otro modo, la normalización es encontrar un parámetro o patrón para poder convertir el valor de la celda en metros (rango 0-60.000) en uno adimensional (rango 0-1).

- *Localidades y Urbanizaciones*

En la Fig. 5.15 se muestra el patrón de normalización de la capa correspondiente a Localidades y Urbanizaciones:

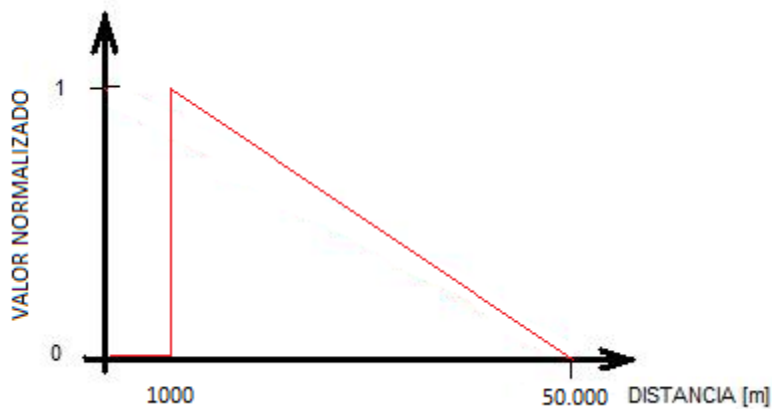


Figura 5.15: Normalización utilizada para la capa de distancias a localidades y urbanizaciones.

Como se puede observar en la Fig. 5.15 todas aquellas celdas a una distancia menor a 1000 metros recibirán un valor 0, por lo que quedarán excluidas del análisis de preferencia, es decir que esta restricción indica que no se podrá instalar la planta industrial a una distancia menor a 1000 metros de una población.

Las celdas que superen la restricción impuesta (1000 metros) irán disminuyendo su valoración a medida que se alejen de los asentamientos urbanos. Esto se consideró de este modo, ya que la distancia a los centros urbanos es directamente proporcional al incremento

en el costo de los servicios auxiliares como transportes, fletes de los insumos, mano de obra, energía eléctrica (en caso que haya que construir líneas nuevas) y será donde se ubiquen los potenciales clientes del producto principal que realice la planta. Se excluyó aquellos sitios que disten una distancia mayor de 50.000 metros por posibilidad de hacer inviable el proyecto económicamente.

- *Superficies implantadas*

El patrón de normalización para las tres variables que representan el principal insumo de las plantas responde a una curva como la que se muestra en la Fig. 5.16. La pendiente negativa es debido que se valorizarán más aquellas celdas cercanas a la ubicación de las superficie cultivadas de caña de azúcar, tabaco y citrus, ya que la Planta de Adecuación de Biomasa que se estudia en este trabajo utilizará como materia prima los residuos de dichas cosechas y/o podas. A los fines de normalizar los valores de las celdas, el perfil de la curva será el mismo para cada cultivo, ya que siempre hablamos de la distancia de las celdas en evaluación a aquellas donde están los recursos.

El límite que se pone de 100.000 metros es porque las celdas que se encuentran a una distancia mayor del límite, caen fuera del territorio Tucumano.

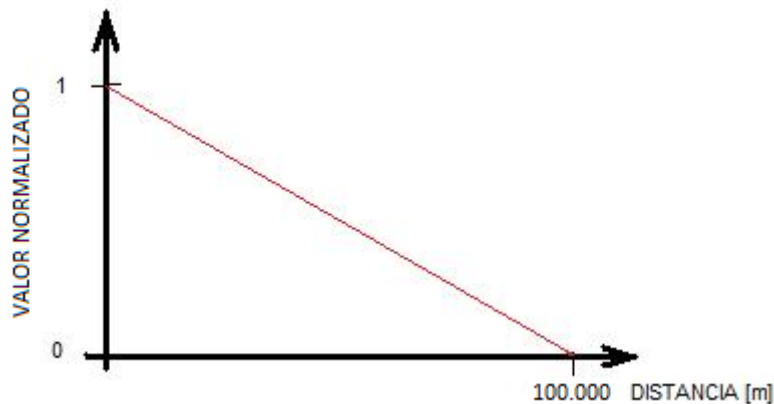


Figura 5.16: Normalización utilizada para las capas de distancias Caña de Azúcar, Citrus y Tabaco.

- *Rutas*

En el caso de la variable “Rutas”, la curva de normalización también representa una curva con pendiente negativa, pero al igual que en el caso de “Localidades y Urbanizaciones” tiene una zona prohibida por disposición legislativa (factor limitante) lo cual prohíbe la instalación de cualquier obra civil a una distancia menor de 100 metros, esto se explica en detalle en el párrafo de análisis de exclusión, pero cabe mencionarlo para comprender dicha curva.

Se optó esta correlación lineal entre distancia y valor de las celdas debido a que una cercanía a la ruta facilita el acceso de los proveedores, los trabajadores y sobre todo si se debe incurrir en gastos de inversión para realizar caminos nuevos puede llevar a que el proyecto se vuelva inviable económicamente. Se propone excluir aquellas celdas ubicadas a una distancia mayor a 10 kilómetros de una ruta. La Fig. 5.17 presenta el perfil de normalización para esta variable.

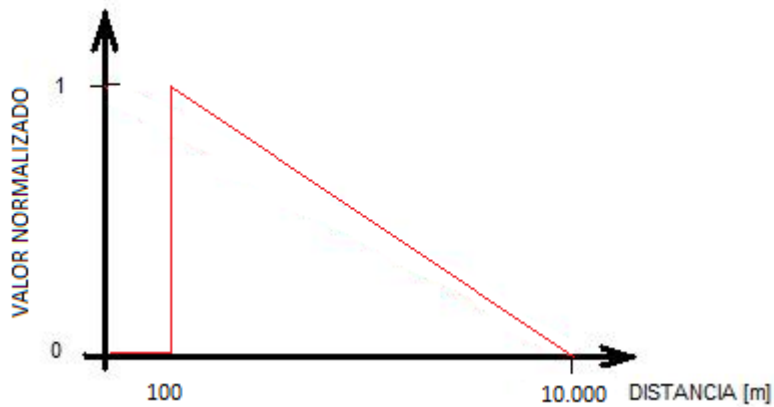


Figura 5.17: Normalización utilizada para la capa de distancias rutas.

5.3.3 Asignación de Peso a cada Variable

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 “Cobertura de Citrus” que las “Rutas”, al tratarse de una planta de adecuación de biomasa, la variable que más peso tendrá en el análisis de la ubicación geográfica será lógicamente la ubicación de dicha biomasa antes que las demás variables.

El factor de peso relativo w se generó con el método conocido como Proceso Analítico Jerárquico (AHP) [11]. En este método, luego de elegir la jerarquía de los factores influyentes en la toma de decisión, todas las variables son comparadas de a pares con el objetivo de determinar la importancia relativa de cada una de ellas. Como resultado de la comparación de 5 criterios o variables, se obtiene una matriz cuadrada A de 5 x 5, en la cual cada elemento a_{ij} es la intensidad de la importancia relativa del criterio i frente al criterio j , con i, j que varían desde 1 hasta 5, de modo que $a_{ij}=1$, $a_{ij}=1/a_{ji}$, y $a_{ij} \neq 0$. En la Tabla 5.2 se representa la matriz A donde se realiza la comparación de a pares entre las variables.

Tabla 5.2: Matriz A de valoración relativa entre Variables

Variables	Cobertura de Citrus	Cobertura Caña de Azúcar	Cobertura Tabaco	Localidades y Urbanizaciones	Rutas
Cobertura Citrus	1	1	5	6	7
Cobertura Caña de Azúcar	1	1	2	3	5
Cobertura Tabaco	0.20	0.50	1	2	4
Localidades y Urbanizaciones	0.17	0.33	0.50	1	3
Rutas	0.14	0.20	0.25	0.33	1

Por ejemplo, de la Tabla 5.2 se lee que la Cobertura del Citrus es 5 veces más importante que la Cobertura del Tabaco y 7 veces más importante que las Rutas.

La información que se demanda del decisor para el conformado de la matriz A, es la medida subjetiva de la importancia relativa del criterio *i* frente al *j*, según una escala normalizada de 1 (la misma importancia) a 9 (absolutamente más importante), desglosada como se muestra en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3: Escala Normalizada

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominio está probado en la práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

2, 4, 6, 8 Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.

Los criterios que ayudaron a realizar la valoración relativa de las variables de biomasa se muestran en la Tabla 5.4

Tabla 5.4: Criterios para asignación de valoración relativa: Análisis de biomasa

Tipo biomasa	Generación t/ha*año (aprovechable)	Poder Calorífico Kcal/Kg	Mcal /ha*año	MWh/ha
Residuo Agrícola Cañero	3,9 t/ha	3000 Kcal/Kg	11700 Mcal/ha	13,6 MWh/ha
Poda del Citrus	3 t/ha	4500 Kcal/Kg	13500 Mcal/ha	15,7 MWh/ha
Tallo del Tabaco	1,08 t/ha	2900 Kcal/Kg	3132 Mcal/ha	3,64 MWh/ha

La biomasa fue comparada directamente por la tasa de generación de residuos por hectárea y por año y el poder calorífico de los mismos.

Los criterios que ayudaron a realizar la valoración relativa de las variables de biomasa se muestran en la Tabla 5.5

Tabla 5.5: Criterios para asignación de valoración relativa: Análisis de Infraestructura

Tipo/ Servicio	A tener en cuenta
Rutas	Costo de construcción camino nuevo
Localidades y Urbanizaciones	Energía Eléctrica, servicios y proveedores en general, potenciales clientes

La importancia que cobran las rutas está ligada a reducir los costos de inversión y no incurrir en gastos como construcción de caminerías o accesos a la planta.

De las localidades y urbanizaciones se tiene en cuenta la distancia que recorrerán los empleados desde sus hogares al lugar de trabajo, el flete de los insumos necesarios para el normal funcionamiento y la infraestructura de servicios en general como luz eléctrica, gas, agua, etc.

Luego a partir de la Matriz de valoración relativa entre Variables mostrada en la Tabla 5.2 se generó una nueva matriz **B** con la cual se obtiene el peso w_i para cada uno de los factores de decisión, la cual se muestra en la Tabla 5.6. A continuación las ecuaciones (1) (2) y (3), explican cómo se obtuvo esta nueva matriz **B** y el peso relativo w_i , como elemento del vector **W**.

Matriz **B** donde

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{A_j} \quad (1)$$

$$A_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

El vector de pesos se obtiene de la siguiente manera:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (3)$$

Tabla 5.6: Obtención de la matriz B y los factores de pesos relativos w_i

Variables	Cobertura de Citrus	Cobertura Caña de Azúcar	Cobertura Tabaco	Localidades y Urbanizaciones	Rutas	w_i
Cobertura Citrus	0.40	0.33	0.57	0.49	0.35	0.43
Cobertura Caña de Azúcar	0.40	0.33	0.23	0.24	0.25	0.29
Cobertura Tabaco	0.08	0.16	0.11	0.16	0.20	0.14
Localidades y Urbanizaciones	0.07	0.11	0.06	0.08	0.15	0.09
Rutas	0.06	0.07	0.03	0.03	0.05	0.05
$\sum_i w_i$						1.00

Por ejemplo para la Caña de Azúcar:

Usando la ecuación (2) tenemos $A_2=1+1+0.50+0.20+0.33=3.03$

Entonces de ecuación (1) $b_{32}= 0.50/3.03=0.16$

5.3.4 Capa final del Análisis de Preferencia

La capa final de este análisis representa el valor de la i -ésima celda, la cual obtenemos a través de la sumatoria de la i -ésima celda (de cada capa) por el peso relativo de la k -ésima variable. A este valor final de la i -ésima celda le llamamos $P_{p,i}$ como muestra la ecuación (4)

$$P_{p,i} = \sum_{k=1}^5 w_k X_{i,k} = w_{caña} X_i + w_{citrus} X_i + w_{tabaco} X_i + w_{rutas} X_i + w_{urbanizaciones} X_i \quad (4)$$

Donde

X_i : Valor Normalizado de la i -ésima celda para la k -ésima variable, donde i varía desde 1 hasta N

w_k : Peso relativo de la k -ésima variable, donde k varía desde 1 hasta 5

$P_{p,i}$: Valor final de preferencia de la i -ésima celda, donde i varía desde 1 hasta N

La Fig. 5.18 representa la imagen final del análisis de preferencia, donde podemos observar aquellos pixel con mayor valoración (color violeta) para la instalación de una planta de adecuación de biomasa. Hasta acá solo valoramos las celdas sin tener en cuenta que es lo que existe en ese lugar, dicho de otro modo, no tenemos en cuenta cursos de los ríos y otros cuerpos de agua, ubicación de poblaciones, ni el trazado de rutas.

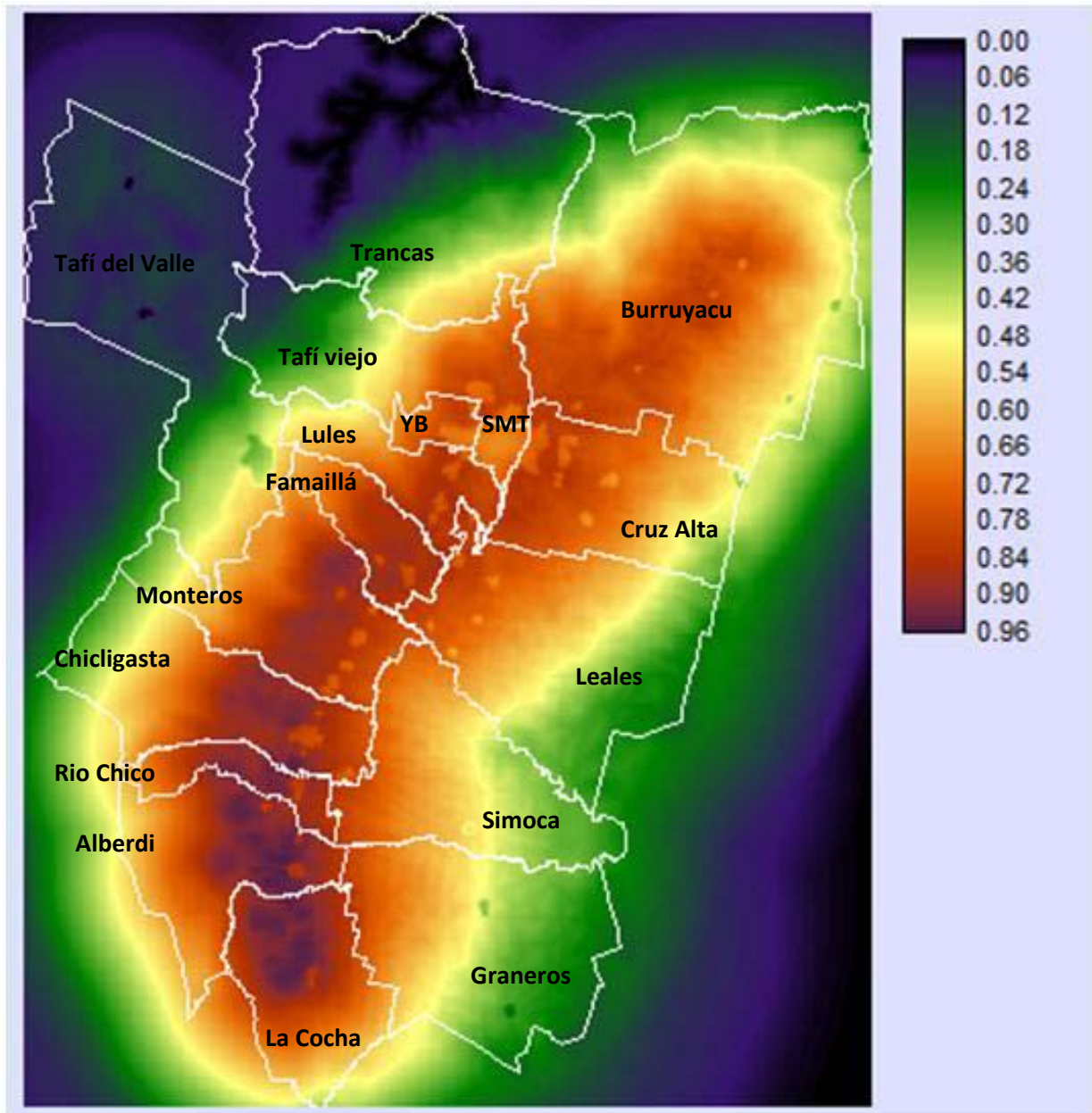


Figura 5.18: Imagen final del análisis de preferencia

5.4 ANÁLISIS DE EXCLUSIÓN

5.4.1 Obtención zonas prohibidas

Este análisis se realiza para reducir la zona de estudio, para eliminar por completo aquellas zonas prohibidas y restringidas por cuestiones ambientales, legales o por decisión estratégica para no volver inviable el proyecto. Se toman las capas rasterizadas y se le aplican filtros o zonas buffer que representan zonas prohibidas donde no es posible instalar una planta industrial. Se realiza este análisis para aquellas capas que contienen información de infraestructura o accidentes geográficos, y que por fuerza mayor o disposiciones legales se prohíbe la instalación, generando nuevas imágenes binarias para cada variable, donde 1 representa zona apta para la instalación de una planta y 0 zona prohibida.

En la Tabla 5.7 se muestran los criterios excluyentes de este análisis para cada una de las variables analizadas.

Tabla 5.7: Restricciones impuestas a los criterios en estudio

Limitante	Criterio de Exclusión	Causa
Localidades y Urbanizaciones	Se excluirán aquellas celdas con una distancia menor a 1000 m por la prohibición de instalar una planta industrial cercana a zona residencial	Ordenamiento territorial-Ambiental
Rutas	Se excluirán aquellas celdas con una distancia menor a 100 m por disposición provincial de instalación de industrias a la vera de las rutas	Ordenamiento territorial
Ríos	Se excluirán aquellas celdas con una distancia menor a 200 m por disposición provincial de instalación de industrias a la vera de las rutas	Ordenamiento territorial-Ambiental

Una vez generados las 3 imágenes (nuevas capas) correspondientes a las limitantes tenidas en cuenta, se las interceptaron o superpusieron para obtener una sola capa donde estén reflejadas todas las restricciones surgidas del análisis de exclusión, como se explica a continuación.

En la Fig. 5.19 se muestran las restricciones para la capa de “Localidades y Urbanizaciones”.

Nótese que esta capa es muy similar a la capa de “Localidades y Urbanizaciones”, Fig. 5.3, pero las manchas negras aparecen de mayores dimensiones debido a que representan la ubicación de las localidades y urbanizaciones y además una zona prohibida o buffer que podría interpretarse con la forma de un anillo de 1000 metros de espesor alrededor de la ciudad.

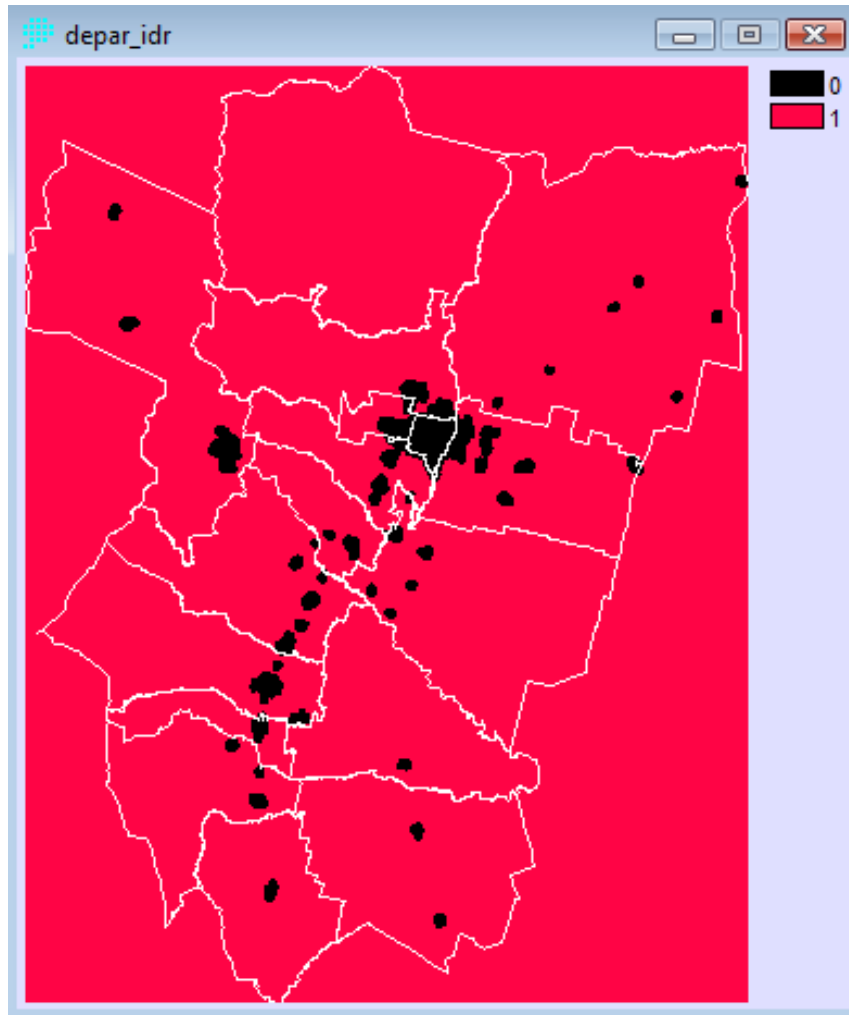


Figura 5.19: Buffer para el factor limitante Localidades y Urbanizaciones.

En la Fig. 5.20 se puede apreciar los cursos de agua de la provincia de Tucumán y sus zonas *buffer*, las cuales se pueden representar con una línea imaginaria a ambos lados del

rio equidistante. Como se definió en la Tabla 5.5 estará prohibida la instalación a una distancia menor a 200 metros del cauce del río.

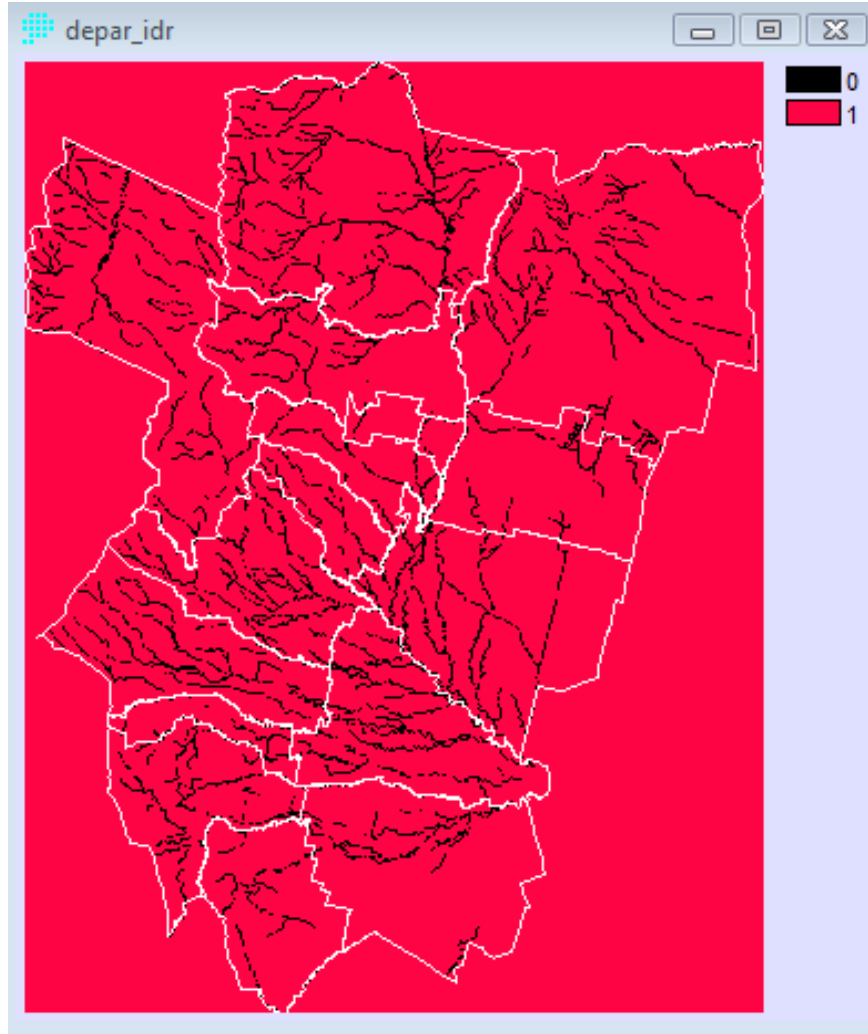


Figura 5.20: *Buffer* para el factor limitante Ríos, Lagos y Cuerpos de Agua.

En la Fig. 5.21 se observa las restricciones para el factor limitante “Rutas”. A simple vista pareciera una serie de puntos sobre la capa, pero cuando se hace una ampliación sobre cualquier zona se puede apreciar el trazado de las rutas y sus zonas *buffer*, las cuales se había definido 100 metros a ambos lados de la misma.

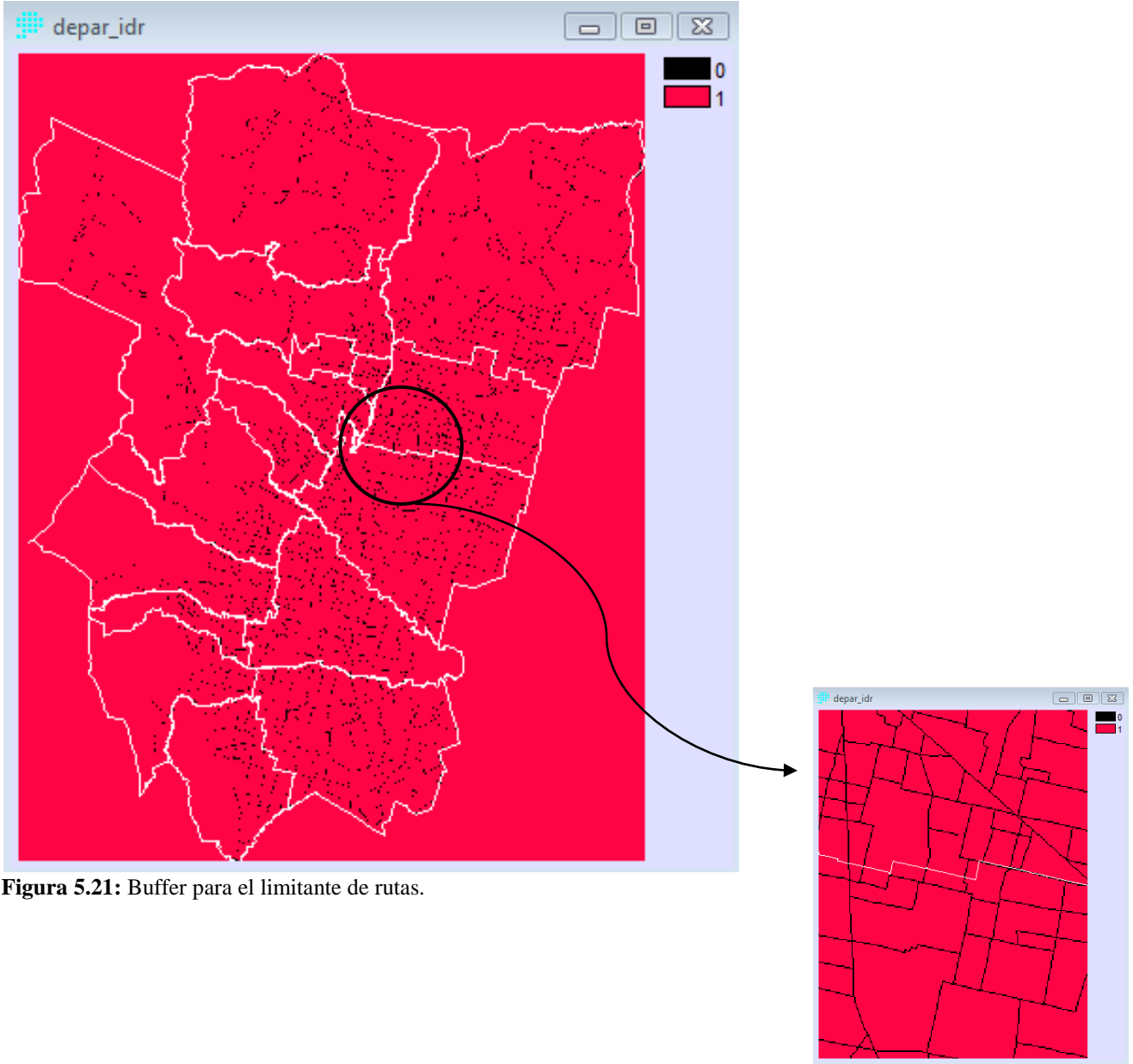


Figura 5.21: Buffer para el limitante de rutas.

Para obtener la imagen final de exclusión se introdujo la ecuación (5) en el software

$$P_{E,i} = \prod_{k=1}^3 X_{i,k} \quad (5)$$

Donde: X_i representa el valor de la i -ésima celda, donde i varía desde 1 hasta N.

k representa la k -ésima capa, donde k varía desde 1 hasta 3.

$P_{E,i}$: representa un valor de la i -ésima celda del análisis de exclusión, y es también una variable binaria

5.4.2 Intersección zonas prohibidas

En la Fig. 5.22 se representa la capa final del análisis de exclusión, donde aparecen todas las zonas prohibidas por las distintas limitantes tenidas en cuenta en este análisis. Como se mencionó anteriormente se trata de un mapa binario, donde las celdas negras toman un valor 0 y representan las zonas prohibidas y a las celdas rojas le asignamos el valor 1 y representan zonas aptas para la instalación de una planta de adecuación de biomasa.

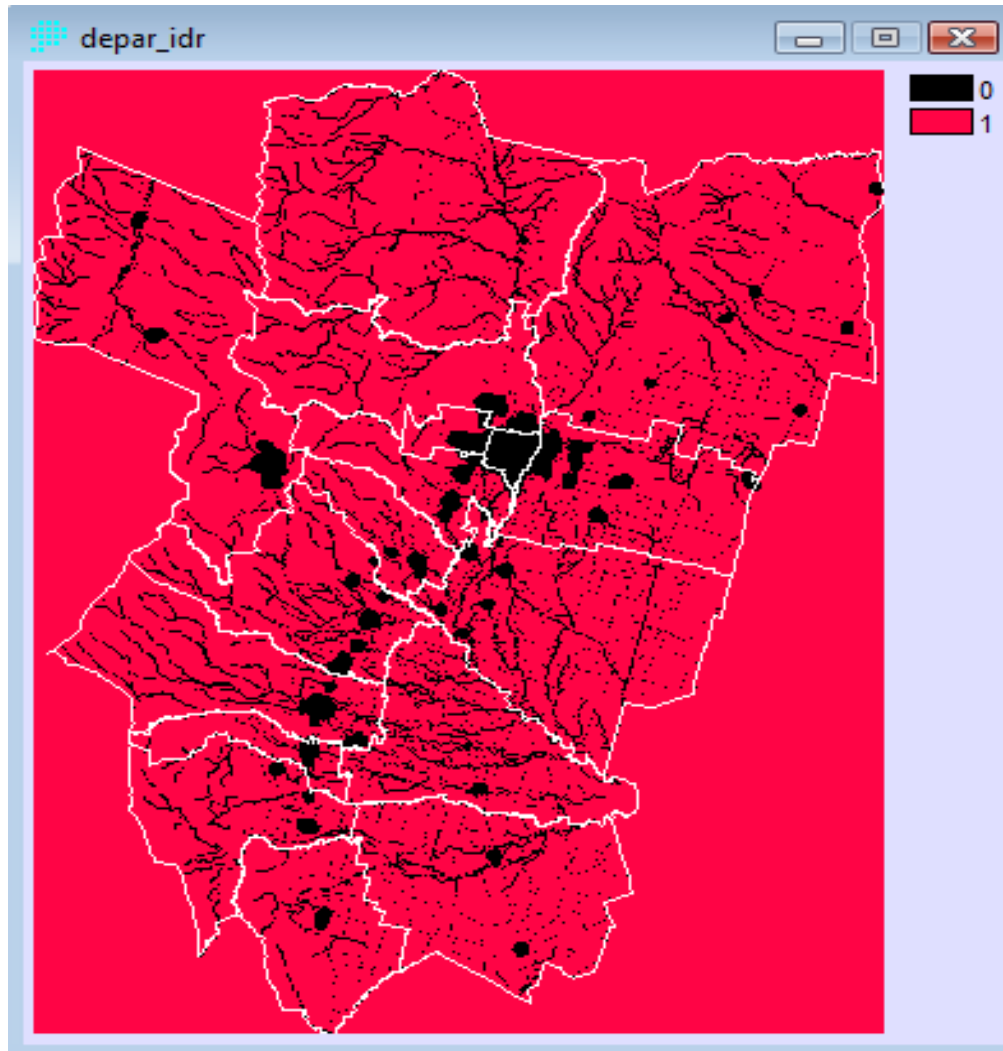


Figura 5.22: Imagen final del análisis de exclusión

5.5 OBTENCIÓN ZONAS APTAS PARA LA PLANTA DE ADECUACIÓN DE BIOMASA

El análisis final consiste en intersectar las dos capas finales obtenidas en los análisis previos. Es decir la capa final del análisis de preferencia, que se muestra en la Fig. 5.18 y la capa final del análisis de exclusión, que se muestra en la Fig. 5.22. De este procedimiento surge el valor C_i de la i -ésima celda, la cual podrá tomar valores desde 0 hasta 1, con un rango continuo.

El valor de la nueva variable C_i para cada una de las celdas del mapa se obtiene mediante el cálculo expresado en la ecuación (6).

$$C_i = P_{P,i} * P_{E,i} \quad (6)$$

Donde las variables:

$P_{P,i}$ representa el valor de la i -ésima celda del mapa final del análisis de preferencia

$P_{E,i}$ representa el valor de la i -ésima celda del mapa final del análisis de exclusión

C_i representa el valor de la i -ésima celda del análisis final

Y los subíndices:

P : representa Preferencia

E : representa Exclusión

Como resultado de dichos cálculos se obtuvo la Fig. 5.23 que es el mapa final en donde se puede apreciar las zonas aptas para la instalación de una PAB. Aquellas zonas pintadas de color morado son las que mayor puntuación (cercano a 1) sacaron en el análisis de preferencia, y según los criterios y la metodología desarrollada en este trabajo, representan las ubicaciones óptimas para el emplazamiento de una planta generadora de combustible sólido renovables.

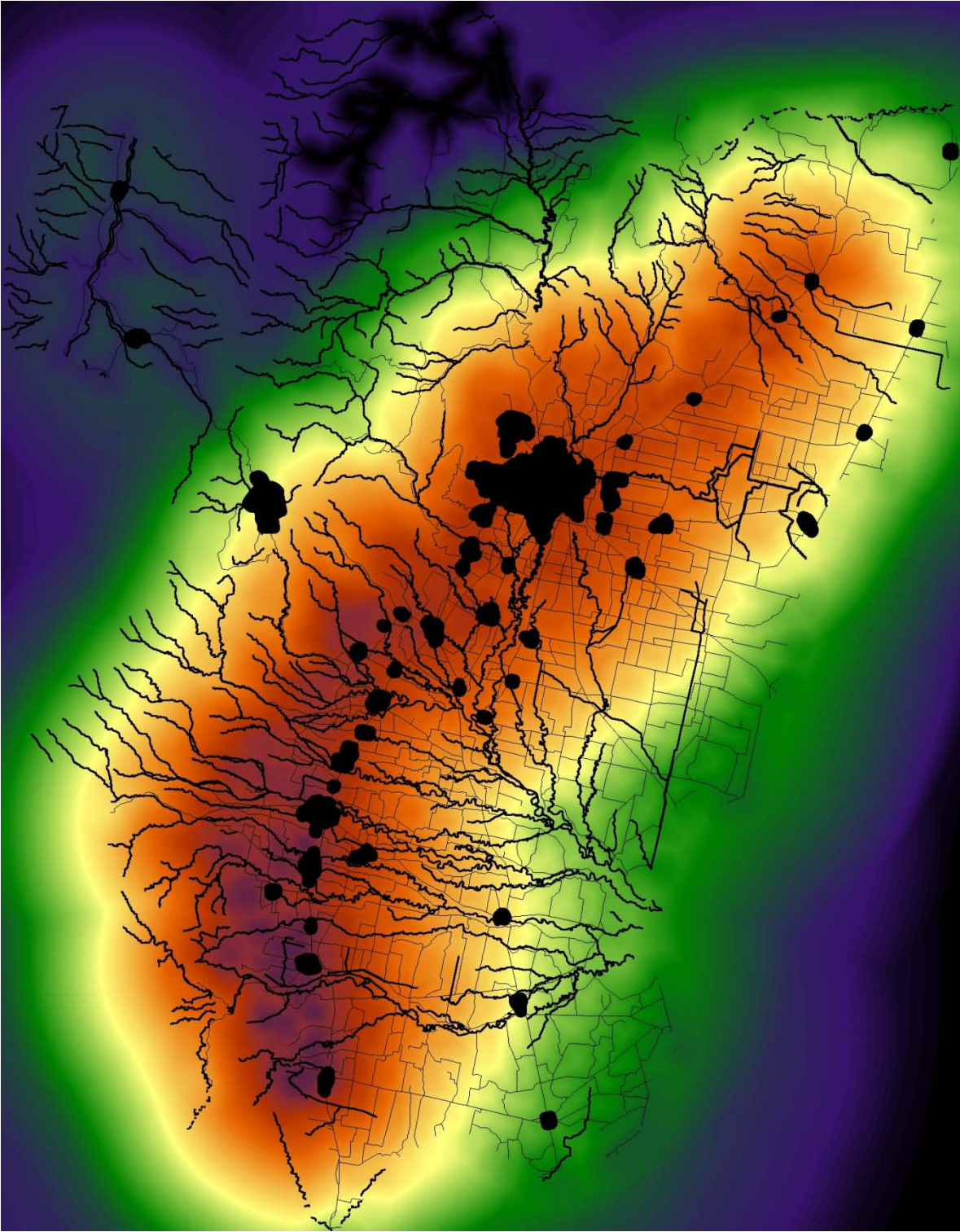


Figura 5.20: Imagen final

Las zonas aptas para la instalación de las PAB se reconocen como aquellos pixels de color morado y se extiende desde el límite norte del departamento de Monteros hasta la zona centro del departamento de La Cocha, limitado hacia el Este por la Ruta Nacional 38 y al Oeste por el piedemonte del Cerro Aconquiya.

La ubicación óptima para la instalación de una Planta de Adecuación de Biomasa es, como se muestra en la Fig. 6.1 a través de un punto amarillo, al Noroeste de la ciudad de Alberdi. Esta ubicación cumple con los criterios tenidos en cuenta durante el desarrollo de la metodología, como ser la cercanía de una ciudad para proveer los servicios básicos, también la corta distancia al canal de comunicación mas importante de la provincia como ser la RN 38, ya que comunica la misma de Norte a Sur pasando por las ciudades más importantes. El factor clave de la ubicación óptima es la alta disponibilidad de biomasa existente en la zona.

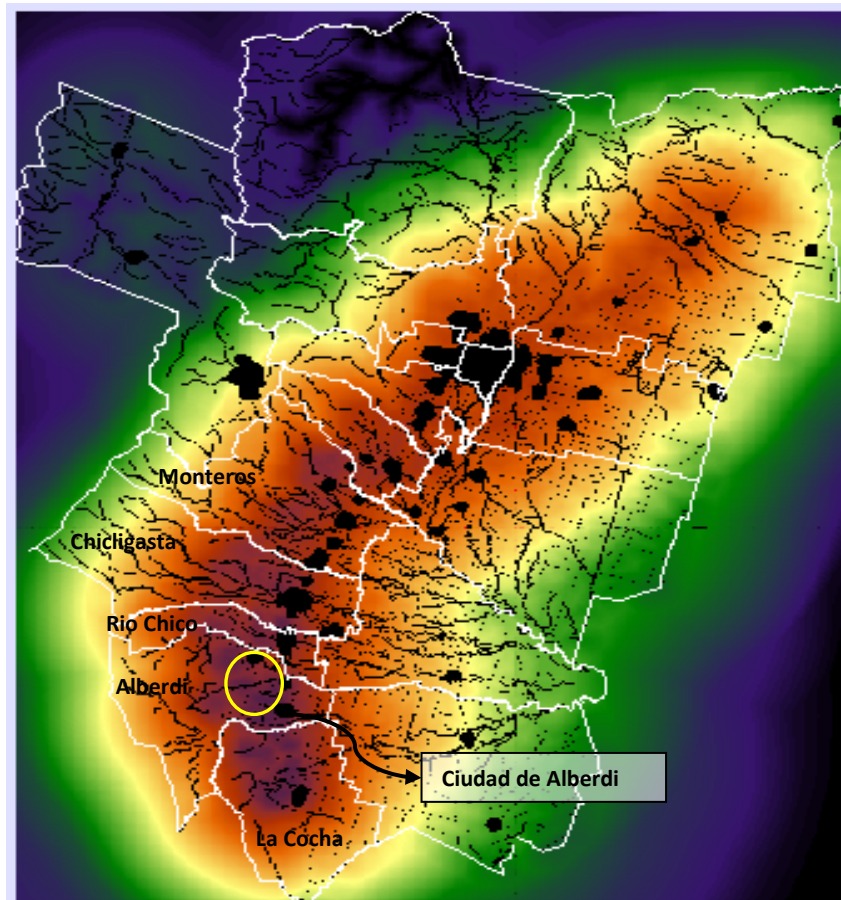


Figura 6.1: Ubicación óptima de una PAB

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este capítulo, en base a la metodología realizada anteriormente, se propone hacer un análisis de la variabilidad del sistema. Se cambiaron las variables que definen el lugar óptimo para la instalación de la PAB entregado por el software, y se analizaron los nuevos resultados.

Caso 1:

Para este caso se eliminó la variable “Cobertura de Tabaco”, y se cambió la valoración relativa de las variables tenidas en cuenta, como se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Matriz A de valoración relativa entre Variables

Variables	Cobertura de Citrus	Cobertura Caña de Azúcar	Localidades y Urbanizaciones	Rutas
Cobertura Citrus	1	3	6	7
Cobertura Caña de Azúcar	0.33	1	5	6
Localidades y Urbanizaciones	0.17	0.20	1	2
Rutas	0.14	0.17	0.50	1

Se interpretó que el Citrus es tres veces más importante que la Caña de Azúcar, y se mantuvo el resto de las variables iguales. De esta valoración se obtuvieron los pesos relativos de las variables según muestra la Tabla 6.2.

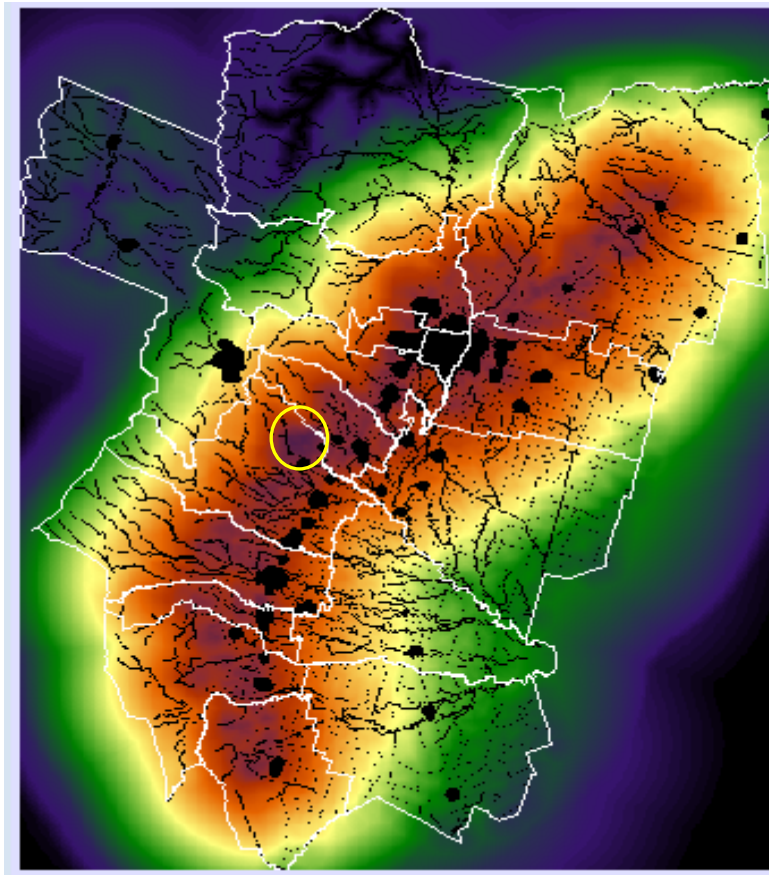
Tabla 6.2: Obtención de la matriz B y los factores de pesos relativos w_i

Variables	Cobertura de Citrus	Cobertura Caña de Azúcar	Localidades y Urbanizaciones	Rutas	w_i
Cobertura Citrus	0.61	0.69	0.48	0.44	0.55
Cobertura Caña de Azúcar	0.20	0.23	0.40	0.38	0.30
Localidades y Urbanizaciones	0.10	0.05	0.08	0.13	0.09
Rutas	0.09	0.04	0.04	0.06	0.06

$$\sum_i w_i$$

1.00

A partir de esta asignación de pesos a cada variable, e introduciéndolas en la ecuación (4), el software nos entregó la Fig. 6.1 que corresponde al mapa final para las condiciones planteada en este caso.



CAPÍTULO 7: CONCLUSIÓN

En este trabajo se utilizó SIG para manipular la información georeferenciada seleccionada como variables y criterios para la toma de decisión de las zonas aptas para la instalación de una planta de adecuación de biomasa en la provincia de Tucumán.

Para determinar la importancia relativa de las variables que influyen en la toma de decisión con respecto a la ubicación de las PAB, se utilizó el método AHP y se determinó que lo más importante es la cercanía de los campos con plantaciones de citrus y caña de azúcar, ya que representan el principal insumo para la planta y poseen un importante potencial energético. La variable que menor importancia relativa sacó fue el trazado de las rutas, debido a que aumentando la inversión del proyecto, se puede incurrir en la construcción de vías de acceso lo que convierte a la variable rutas en un criterio con poco peso a la hora de decidir las zonas aptas, pero aún así es una variable a tener en cuenta.

Luego de aplicar la metodología, se determinó que las zonas aptas para el emplazamiento de una PAB están el sur de la provincia, en los departamentos de Alberdi y La Cocha donde coexisten Caña de Azúcar, Citrus y Tabaco. Rio Chico, Chicligasta y Monteros no poseen superficies con Tabaco pero presentan zonas apropiadas.

La ubicación óptima para la instalación de una PAB luego de obtenido el mapa final, se encuentra al noroeste de la ciudad de Juan Bautista Alberdi marcada con un punto amarillo como se muestra en la Fig. 6.1.

Finalmente, se puede concluir que los SIG son una herramienta determinante para la valorización de recursos biomásicos y para la localización óptima de instalaciones que aprovechen estos recursos renovables.

Esta metodología fue aplicada en plantas de adecuación de biomasa, pero puede ser utilizada para cualquier emprendimiento industrial si se tiene en cuenta las restricciones y variables propias del sistema.

Se observó la falta de información digitalizada y georeferenciada de, por ejemplo, infraestructura que posibilitaría la expansión de esta metodología a otros sistemas industriales.

REFERENCIAS

- [1] Sultana A. y Kumar A., 2012. "Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system". *Applied Energy*, 94, 192-201.
- [2] Jagtar Singh, B.S. Panesar, S.K. Sharma, 2011. "Geographical distribution of agricultural residues and optimum sites of biomass based power plant in Bathinda, Punjab". *Biomass and Bioenergy* 35, 4455-4460.
- [3] Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas (CLICeT). Enero 2012. Fuente: Comisión Nacional de Energía de Chile
- [4] Damian A, 2010. "La Biomasa, Fundamentos Tecnologías y Aplicaciones", Mundi Prensa, España.
- [5] Maslatón C, Ladrón González A y Miño A. "Cifras para pensar. Pellets de madera para usos energéticos". INTI Maderas y Muebles.
- [6] Maslatón C., 2011 "Cifras para pensar. Tendencias en la industria de pellets de madera" Saber Cómo N° 98, INTI.
- [7] FAO Departamento Forestal, Dendroenergía, 2009. "Análisis del Balance de Energía derivada de la Biomasa"
- [8] <http://rides.producciontucuman.gov.ar/>
- [9] <http://idet.tucuman.gob.ar/>
- [10] Saaty TL., Decision making with the analytic hierarchy process., *Int J Serv Sci*, 1:83–98, 2008.