

SILVINA MAGDALENA MANRIQUE

**OPORTUNIDADES Y LIMITACIONES DE SISTEMAS BIOENERGETICOS A PARTIR
DE RECURSOS DEL NORTE ARGENTINO EN UN MARCO DE SUSTENTABILIDAD:
ESTUDIO, PROPUESTAS Y EVALUACION**

Monografía presentada al Eco_Lógicas: Concurso
Latinoamericano de Monografías sobre Energías
Renovables y Eficiencia Energética, auspiciado por el
Instituto IDEAL. Orientador: Dra. Judith Franco

Doctorado en Ciencias- Facultad de Ciencias Exactas-Universidad Nacional de Salta
Avenida Bolivia 5150- 4400, Salta, Argentina. +005403874255424. silmagda@unsa.edu.ar

[2012]

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente al equipo conductor de la presente Tesis Doctoral: la directora, Dra. Judith Franco y los Asesores: el Dr. Lucas Seghezso y el Lic. Virgilio Núñez. Al Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) dependiente del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Nación) y de la UNSa (Universidad Nacional de Salta), y al Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED) de la Facultad de Ciencias Naturales de la misma Universidad. A las personas que colaboraron del INTA (Instituto Nacional en Tecnología Agropecuaria), de las Intendencias locales y de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación (SECyT). A los estudiantes que colaboraron con las tareas de campo, a los pobladores, a los profesionales, a los expertos y a cada una de las personas consultadas y vinculadas con este trabajo, por su valiosa opinión y participación.

RESUMEN

La biomasa –conjunto de materiales de origen orgánico no fosilizado- puede ser utilizada como fuente de energía renovable, contribuyendo a la sustitución parcial de combustibles fósiles (con reservas mundiales limitadas) y a la disminución de gases contaminantes y de efecto invernadero (GEI) asociados al sobrecalentamiento global. En Argentina, 90% dependiente de fuentes fósiles, la bioenergía en particular podría jugar un rol significativo por lo que actualmente se está promoviendo su empleo. La provincia de Salta, ha sido identificada como una de las áreas potenciales para la implementación de Sistemas Bioenergéticos (SB) pero al comienzo de esta investigación, prácticamente no existía información generada sobre los diferentes aspectos y posibilidades de la biomasa local. El objetivo de este trabajo fue evaluar el nivel de aporte que la biomasa del Valle de Lerma (centro de la provincia) podría realizar en cuanto instrumento estratégico para la implementación de sistemas energéticos *más sustentables*. Se estudiaron, consensuaron, cuantificaron y midieron variables fundamentales (indicadores) de tres SB definidos. Dichos SB fueron evaluados comparativamente mediante un marco teórico-analítico de Sustentabilidad -construido para este propósito- que incluyó los siguientes eslabones (expresados como Índices Parciales, que integraron los valores de los indicadores medidos): Participación, Recursos, Tecnología e Impactos. Cada SB obtuvo un Índice de Sustentabilidad (IS) que osciló entre “aceptable” y “alto”, según la escala definida. Los aportes de este trabajo pueden vislumbrarse en tres áreas fundamentales: i) generación de *conocimientos* científico-técnicos para el manejo planificado de la biomasa del Valle de Lerma; ii) construcción y desarrollo de metodologías novedosas de análisis y evaluación de la *Sustentabilidad* y iii) aporte de resultados específicos en el campo de la bioenergía, que permitirá lograr la *integración* de sectores y regiones con propuestas concretas, direccionándolos hacia niveles de mayor sustentabilidad local.

PALABRAS CLAVE: biomasa, sistema bioenergético, sustentabilidad

ABSTRACT

Biomass-set not fossilized organic materials-can be used as source of renewable energy, contributing to the partial substitution of fossil fuels (with limited global reserves) and to the reduction of polluting gases and effect greenhouse (GHG) associated to global overheating. In Argentina, 90% dependent on fossil sources, bioenergy could play a significant role so it is being currently promoted their employment. The province of Salta has been identified as one of the potential areas for the implementation of Bioenergy Systems (BS) but at the beginning of this investigation, there was virtually no information generated on different aspects and possibilities of local biomass. The objective of this study was to assess the level of contribution that the biomass of the Lerma Valley (province center) could be as strategic tools for the implementation of more sustainable energy systems. The main variables (indicators) were studied, agreed, quantified and measured for three defined BS. These BS were comparatively evaluated through a theoretical-analytical framework of sustainability -built for this purpose- included the following links (expressed as partial Indices, which integrated the values of measured indicators): Participation, Resources, Technology and Impacts. The BS got an Index of Sustainability (IS) that ranged from "acceptable" to "high", according to the defined scale. The contributions of this work can identify in three key areas: i) generation of scientific and technical knowledge for the planned management of the biomass of the Lerma Valley; ((ii) construction and development of novel methodologies for analysis and evaluation of sustainability and iii) contribution of specific results in the field of bioenergy, which will allow the integration of sectors and regions with specific proposals, by directing them towards higher local sustainability levels.

KEY WORDS: biomass, bioenergy system, sustainability

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| AGRADECIMIENTOS | 2 |
| RESUMEN..... | 3 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| ÍNDICE | 4 |
| INTRODUCCIÓN | 5 |
| La biomasa: energía renovable y “limpia” | 5 |
| Desarrollo, desarrollo sustentable, sustentabilidad | 6 |
| METODOLOGIA | 8 |
| Área de estudio | 8 |
| Diseño de investigación | 9 |
| Detalle metodológico | 9 |
| DESARROLLO | 12 |
| La sustentabilidad como marco de análisis | 12 |
| Los sistemas bioenergéticos propuestos | 16 |
| Evaluación (Multi-Criterio) de la Sustentabilidad | 18 |
| CONCLUSIONES | 21 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 22 |
| Anexo: Valores de cada indicador medidos para los SB del Valle de Lerma. | 25 |

INTRODUCCIÓN

La biomasa: energía renovable y “limpia”

Argentina, como la gran mayoría de los países del mundo, tiene una fuerte dependencia de combustibles fósiles para abastecimiento energético [1]. Petróleo y gas, si bien con diferentes proporciones en los últimos 35 años, significan el 90% de la matriz energética nacional, mientras que las energías renovables aportan sólo un 3% de la misma [2]. Según datos del IAE las reservas comprobadas totales de estos hidrocarburos, se redujeron entre 2002 y 2011 un 41%, profundizándose las caídas descritas en periodos anteriores [3]. La proyección de crecimiento de la demanda de energía, que probablemente esté cerca de duplicarse en un periodo de 15 años [4] y las reservas de combustibles fósiles en retroceso, configuran un escenario energético crítico, que se complejiza aún más si se considera el marco ambiental global y nacional. El uso intensivo de combustibles fósiles ha generado fenómenos como la lluvia ácida, la contaminación de la atmósfera y un sobrecalentamiento de la misma, que en opinión de algunos expertos, está guiando a un cambio climático irreversible [5-9]. En este contexto, el empleo de energías renovables junto a medidas de eficiencia energética, podrían contribuir con alternativas estratégicas locales [10-13].

La biomasa, que incluye recursos de naturaleza orgánica no fosilizados en diferentes estados de transformación [14-15] ha sido la primera y única fuente energética utilizada por el hombre hasta el advenimiento del carbón [16] y sigue constituyendo una de las principales fuentes energéticas de la humanidad [17]. Si bien su potencial energético varía en función del tipo y cantidad de recurso y sus características (humedad, composición elemental, cenizas, etc.) así como del proceso de conversión energética [18-21], en muchos países en desarrollo la biomasa -principalmente en su manifestación como leña o madera- es la más importante fuente de energía, con un aporte en conjunto de alrededor de 35% de su energía primaria y valores muy superiores en algunos países africanos [22-23]. Las dos principales características por las cuales se ha revitalizado la promoción de su empleo en la actualidad son su versatilidad como fuente de energía renovable y su cualidad de ser “más limpia”, en cuanto a emisiones contaminantes (NO_x , SO_2) y de gases efecto invernadero (GEI, principalmente CO_2 , responsable del 80% del sobrecalentamiento global) [24-27]. En particular, se considera que la biomasa es una fuente “neutra” en emisiones de carbono, ya que todo el CO_2 emitido ha sido teóricamente fijado por las estructuras vegetales previo a su empleo¹ [28-30].

En Argentina, la promoción del empleo de biomasa se ha concentrado en cultivos energéticos dedicados a la producción de combustibles líquidos (biodiesel y bioetanol, principalmente). La veloz expansión consecuente de estos cultivos (al igual que en otras partes del mundo) ha causado grandes

¹ Esto depende cómo y dónde sean producidos [31-33].

controversias por el avance de la deforestación, la alta dependencia de insumos y recursos que implican (agua, tierra, fertilizantes, maquinarias), el destino de los biocombustibles generados y el tipo de impactos en las zonas donde se producen [34-41]. Sin embargo, otros recursos de biomasa no han tenido aún el protagonismo que podrían tener de acuerdo a su potencial. Un estudio reciente denominado proyecto WISDOM [14] realizado en el país para definir la potencialidad de los recursos leña, carbón vegetal y residuos agroindustriales, estima que el consumo total real duplica el mencionado en el Balance Energético Nacional (alcanzando los 5.000 ktep/año). Aún así, su participación en la matriz energética es baja y el gobierno está impulsando nuevas medidas para promover que su participación alcance un 10% (aproximadamente 200 MW de electricidad y otro tanto de energía calórica desde biomasa) [42].

En la provincia de Salta, al comienzo de esta investigación prácticamente no había información generada sobre la biomasa en sus diferentes aspectos y posibilidades y, más allá de los usos no comerciales e improvisados (empleo de leña de monte sin planes de manejo), no existían estudios científico-técnicos ni propuestas participativas e integrales concretas que permitieran concluir sobre la bondad del empleo de biomasa. El hecho de que la biomasa se asociara con algunos de los beneficios mencionados, ¿implicaba que el empleo de la bioenergía en la provincia fuera intrínsecamente sustentable? ¿Cuáles serían los criterios que permitirían medir la sustentabilidad de los sistemas bioenergéticos (SB) que pudieran proponerse? Y en términos más generales: ¿Qué sería lo sustentable? Para poder dar respuesta a estos interrogantes, es necesario aclarar algunos conceptos.

Desarrollo, desarrollo sustentable, sustentabilidad

En 1949, el presidente Truman utiliza la palabra “desarrollo” para comparar su situación como país, en cuanto a crecimiento económico, progreso industrial y avance científico alcanzados, con todas las otras variadas y múltiples realidades existentes en el mundo. De un momento al otro, los 2/3 de la humanidad pasaron a pertenecer a la categoría de *subdesarrollados*, cuyas diferencias con los países dominantes se consideraron un síndrome de atraso, indignidad e ignorancia [43-45]. Sin embargo, el sentido de este término se consolida a partir del siglo XV del “descubrimiento”, donde occidente nace como tal y alcanza su mayor esplendor una vez completado el proceso mercantil extractivista de colonización, por una parte, y la Revolución Industrial, por otra, varios siglos más tarde [46]. El progreso al estilo occidental (de crecimiento económico, desarrollo de la producción, adquisición de riqueza y utilización de los recursos que habían surgido en el contexto específico de la industrialización y la colonización) se creyó que era posible para todos y la expansión de este modelo comenzó a generar como consecuencia contaminación, desertización, pobreza, agotamiento, sobreexplotación, extinción [9,45,47]. Una serie de informes científicos publicados a fines de los 60 y principios de los 70, en efecto, comienzan a alarmar sobre una crisis

ambiental [48-49], impulsando la gestación de movimientos ambientalistas (si bien con raíces en siglos anteriores)-por un lado- y diversos organismos internacionales en materia ambiental -por otro- [50] que en 1987 parecen confluir –aún con sus diferencias- en un nuevo concepto: el de “desarrollo sustentable”[51]. Esta propuesta de desarrollo con conservación limitada, se reconoce como el primer intento global e institucionalizado de tratar simultáneamente bienestar económico, protección ambiental, y justicia social, que fueron considerados las tres dimensiones del desarrollo [52-53].

Después de casi tres décadas de esta nueva propuesta de desarrollo, aún subsisten y crecen los problemas que fueron el foco de discusión medio siglo atrás. Probablemente por esto la comunidad científica esté comenzando a hablar de una nueva “ciencia de la sustentabilidad” que busque y proponga verdaderas soluciones que favorezcan la transición de las sociedades hacia trayectorias más sustentables [48,54-55]. El objeto de estudio de esta nueva ciencia, cuyo enfoque epistemológico es el de sistemas complejos, parece definirse como la resiliencia socioecológica de los sistemas [56-58]. Si bien el desarrollo de principios propios bajo los cuales la comunidad de investigadores en sustentabilidad pueda construir sistemáticamente conceptos y teorías que soporten un cuerpo autónomo de conocimiento es todavía incipiente [56,59], los aportes de esta ciencia podrían direccionar las transiciones graduales hacia condiciones más sustentables para los sistemas globales, sociales y humanos [9, 60-61]. En este sentido, claramente, no puede conocerse cómo será en el futuro la sociedad o sistema “sustentable”, pero sí pueden reconocerse con certeza que algunas actividades o prácticas humanas, si no son detenidas o cambiadas, no contribuirán al logro de esa sustentabilidad [57]. Sin embargo, el manejo conjunto de información proveniente desde diferentes disciplinas que nutren a esta ciencia (ética ambiental, economía ecológica, ecología política, ecología cultural, entre muchas otras, [48]), sólo será posible si se desarrolla un marco de referencia dentro del cual las disciplinas individuales puedan proporcionar criterios e indicadores cuantificables para la evaluación de la sustentabilidad (definida localmente) de manera que se facilite el proceso de toma de decisiones y la resolución de problemas complejos [53, 61]. Hace un tiempo atrás que los investigadores vienen concertando esfuerzos en la propuesta de diferentes métodos y herramientas de evaluación y es un momento clave para lograr aportes que contribuyan a conciliar los que mejor permitan medir el progreso hacia la *sustentabilidad* [62-64].

En este trabajo se resumen algunos de los principales resultados de la tesis doctoral de la autora, cuyo objetivo fue evaluar el nivel de aporte que la biomasa local podría realizar en el sector centro de la provincia de Salta, en cuanto instrumento estratégico para la implementación de sistemas energéticos *más sustentables*. Para esto, se estudiaron, definieron, consensuaron, cuantificaron y evaluaron los recursos de biomasa locales y potenciales sistemas bioenergéticos (SB) a implementarse, de manera participativa, multidimensional e integral, realizando contribuciones en

tres áreas fundamentales: i) generación de conocimientos científico-técnicos para el manejo planificado de la biomasa del Valle de Lerma, principalmente en función de su potencial de mitigación de GEI y su potencial bioenergético; ii) construcción y desarrollo de metodologías novedosas de análisis y evaluación de sustentabilidad, y iii) aporte de resultados específicos en el campo de la biomasa y la bioenergía, que permitirá lograr la integración de sectores y regiones con propuestas concretas, direccionándolos hacia niveles de mayor sustentabilidad local.

METODOLOGIA

Área de estudio

El Valle de Lerma se ubica en la provincia de Salta, Argentina, entre las coordenadas 24°22.0' a 25°43.0' S y de 65°15' a 65° 48' O. La altitud media es 1.100 m.s.n.m. y la pendiente de 1%.

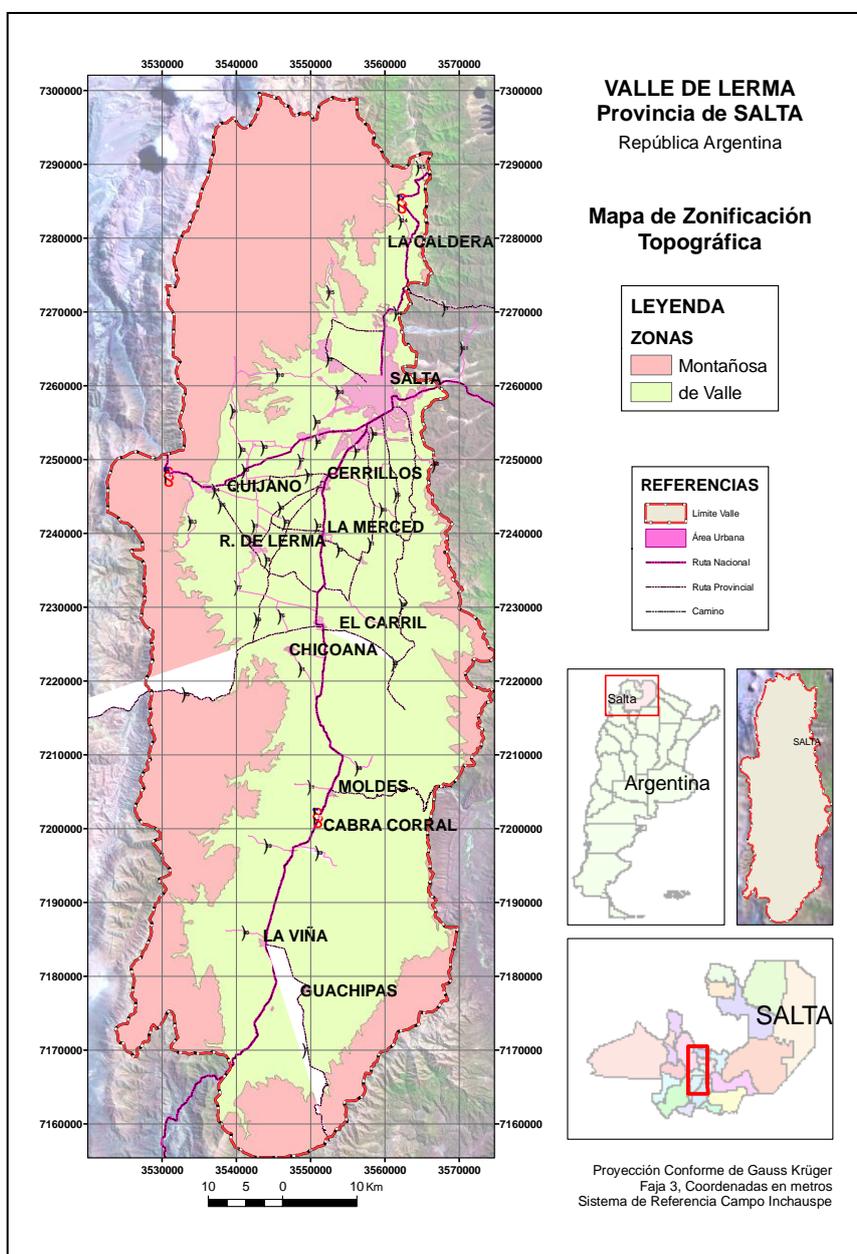


Figura 1. Zonificación topográfica del Valle de Lerma, siguiendo la cota de 1.600 m.s.n.m.

La superficie alcanza los 5.005 km² y se considera como una unidad, por sus características productivas, ecológicas y climáticas, siendo la actividad agrícola la que regula la economía de la región, dominada por el cultivo de tabaco [65]. El Valle está integrado por 7 departamentos (incluyendo el Capital) y 13 municipios y concentra el 53% de la población provincial (cerca de 600.000 personas) [66]. Se distinguieron dos regiones con características diferenciales (Fig. 1): la zona plana (70.000 habitantes) que corresponde a una llanura interior que es apta para agricultura y donde se concentran los centros urbanos y de servicios (hasta los 1.600 m.s.n.m.); y la zona montañosa, que bordea el Valle, con altitudes máximas de 5.000 m.s.n.m. en el oeste y 2.000 m.s.n.m. en el este, con una población dispersa, que realiza prácticas de autoconsumo y ganadería extensiva. Los SB se definieron para la zona plana, de mayor accesibilidad y diversidad de opciones.

Diseño de investigación

El proceso de investigación, con tres niveles diferentes de abordaje -exploratorio, descriptivo y explicativo- siguió, esquemáticamente los siguientes pasos:

- a. Construcción del marco teórico-analítico de la Sustentabilidad.
- b. Estudio del área geográfica seleccionada.
- c. Identificación de recursos potenciales y disponibles en el área de estudio.
- d. Relevamiento y muestreo de los recursos de biomasa disponibles.
- e. Caracterización de los recursos de biomasa estudiados.
- f. Estimación del potencial bioenergético y de mitigación de GEI de los recursos.
- g. Selección de la aplicación, procesos y tecnologías para cada recurso.
- h. Evaluación de sustentabilidad de cada uno de los SB.

Estos pasos se cumplieron en tres etapas procedimentales (que no guardan un orden cronológico ya que se fueron retroalimentando en el proceso de investigación): i) gabinete (análisis, revisión de literatura, reflexión, procesamiento y construcción de conocimiento); ii) terreno: muestreos, entrevistas y encuestas, talleres locales y iii) laboratorio: procesamiento de muestras.

Detalle metodológico

Las técnicas y herramientas metodológicas empleadas se describen con mayor detalle a continuación. Los resultados logrados en el ítem (a), se muestran en el apartado “*Desarrollo*”, y se basó en un análisis en profundidad de literatura relevante, aporte de expertos en el tema y reflexión propia.

a. Estudio del área geográfica seleccionada

Mediante exploración bibliográfica (fuentes primarias y secundarias), trabajo con imágenes satelitales Landsat 5, recorridas de terreno y volcado de los datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se delimitaron principales tipos de cobertura de suelo, vegetación y recursos.

b. Identificación de recursos potenciales y disponibles (y otros aspectos de sustentabilidad)

Mediante observación participante, talleres (5), entrevista a actores clave (40 entrevistas), encuestas locales (100 encuestas) y trabajo en gabinete. Se buscó conocer e identificar la percepción local sobre fuentes de biomasa y las demandas energéticas existentes, y los aspectos a ser considerados en los SB para poder avanzar hacia sistemas más sustentables. Los sectores consultados fueron: gobiernos municipales, empresas tabacaleras, asociaciones, productores y pobladores (agentes sanitarios, maestros, dirigentes locales, etc. Las encuestas permitieron contrastar la información recabada en entrevistas y talleres, estandarizando los resultados.

c. Relevamiento y muestreo de los recursos de biomasa disponibles

Los muestreos fueron estadísticamente planificados y fueron de dos tipos: destructivos y no destructivos. En el primer caso, implicó la cosecha del material y llevado a laboratorio, y en el segundo, sólo el registro de variables a campo, como: diámetro a la altura de pecho (*dap*, medido por convención a 1,3 m), diámetro a la base, altura total y de fuste, calidad del árbol (sano, recto, torcido, bifurcado, enfermo, hueco, muerto en pie, caído, etc.), especie, cantidad. Se trabajó con parcelas rectangulares de 100 m² en el caso de vegetación nativa (ecosistemas naturales), donde también se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad. La cantidad de parcelas se estimó en función de la variabilidad del recurso a muestrear, considerando su biomasa (como peso seco) por unidad de superficie. El error de muestreo asumido fue de 20% y el nivel de confianza de 95%. Se trabajó con test estadísticos no paramétricos (Kruskall Wallis) y pruebas de dos colas para los análisis.

d. Caracterización de los recursos de biomasa seleccionados

Las muestras se caracterizaron en aspectos físicos, químicos y energéticos en el Laboratorio Central de Análisis del INTA Cerrillos (Salta). El secado se realizó en estufas a 105 °C. Se molieron y analizó: carbono orgánico (CO) por el método de Walkley-Black; materia seca inicial (M.S.I) por gravimetría a 70°C; materia seca final (M.S.F.) por gravimetría a 105°C; cenizas por gravimetría a 550°C durante 6 horas; poder calorífico inferior y superior (PCI y PCS) mediante bomba calorimétrica Parr 1108. Los resultados se expresaron en base seca. Para suelo, se estimó también densidad aparente por el método del cilindro [67].

e. Estimación de biomasa, bioenergía y mitigación de GEI

Dado que dos de las cualidades de la biomasa más apreciadas a nivel mundial son su potencialidad energética y su rol en la mitigación de GEI, ambos aspectos fueron estudiados. Para estimación de biomasa (t/ha) y carbono (asumido como el 50% de la biomasa [6]) se aplicaron las ecuaciones de Tabla 1, en función del ecosistema estudiado.

| Ecosistema | Autor | Nº | Ecuación (Ec) |
|------------|--------------------------|-----|--|
| Yungas | Brown et al. (1989) [68] | (1) | $Y = \exp \{ - 2.4090 + 0.9522 \ln(D^2 HS) \}$ |

| | | | |
|------------------|--------------------------|-----|--|
| Chaco | Chave et al. (2005) [69] | (2) | $Y = 0.112 \times (S \cdot D^2 \cdot H)^{0.916}$ |
| Arbustales | Zhou et al. (2007) [70] | (3) | $MT = 0.1368 (D^2 \times H_0)^{0.7559}$ |
| Carbono de Suelo | Macdicken (1997) [71] | (4) | $COS = CO \cdot DA \cdot P$ |

Tabla 1. Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar biomasa (Ec. 1 a 3) y carbono orgánico de suelo (Ec.4). En todos los casos Y =biomasa árbol (kg), MT = biomasa del fuste del árbol (kg); D =dap (cm); H =altura total (m); S =densidad básica (g/cm^3); H_0 =altura a la rama de 2,5 cm (m); COS = carbono orgánico de suelo (t/ha); CO = %carbono; DA =densidad aparente (g/cm^3); P =profundidad (cm).

f. Definición de los SB para la zona

En este paso se conjugó la información relevada en las diferentes instancias de participación, el propio conocimiento de la temática adquirido y una nueva fuente de aporte: la consulta a expertos. Esta consulta, que partió de identificar los principales actores en la temática de manejo de biomasa, aspectos de sustentabilidad y SB (internet, links a universidades e institutos y autores de papers) se realizó vía correo electrónico. A cada uno de los actores identificados se les envió, en formato de planilla de cálculo Excel para poder completar con sus respuestas, los tres principales SB propuestos para el Valle de Lerma, anexando la información generada, y solicitando que cada experto brindara su propia opinión para definir criterios e indicadores, como así importancia relativa de los mismos.

g. Evaluación de Sustentabilidad de los SB definidos

Un componente clave de las evaluaciones de sustentabilidad, es la comparación de diferentes proyectos o alternativas [61, 63]. En este trabajo se optó por utilizar la Evaluación Multi-Criterio (EMC), que puede ser definida como una aproximación formal que busca tener explícita cuenta de múltiples criterios para ayudar a individuos o grupos a explorar las decisiones y soluciones que les preocupan [72-74]. El método de resolución matricial utilizado fue el de sumatoria lineal ponderada (SLP) que da un valor único que permite comparar y ordenar las opciones para la toma de decisiones. Así, una vez construido el marco de análisis de Sustentabilidad, se definió de manera participativa cuáles serían los aspectos (o criterios) que deberían considerarse para proponer SB más sustentables y cuál sería su importancia (escala de 1-100). Dichos criterios (33 en total, con una importancia mayor de 30%) se ordenaron jerárquicamente y fueron evaluados mediante indicadores específicos (variables cualitativas o cuantitativas que podían ser medidas para evaluar la tendencia de sustentabilidad del sistema). Los valores de los indicadores (como así el rango de variación) se obtuvieron de cada uno de los pasos descriptos en el “Detalle metodológico”. Una vez definidos los indicadores, se especificó el tipo de relación que cada uno de ellos tenía con el criterio, es decir, si el aumento del valor del indicador podría reflejar una situación mejor (+) o peor (-) para el criterio considerado. Con el fin de adaptar los indicadores a una escala común, se utilizó una función de relativización, la cual se basa en la metodología planteada por el PNUD [75] para calcular el Índice de Desarrollo Humano. En los casos en que los indicadores presentaban una relación positiva se

adoptó la fórmula de la Ec.(5), y cuando ésta era negativa, la Ec. (6), donde: x = valor correspondiente de la variable o indicador para la unidad de análisis; m = valor mínimo de la variable en un período determinado; M = nivel máximo de la variable en un período determinado. Mediante la utilización de estas fórmulas se obtuvieron valores normalizados (entre 0 y 1, desde la peor situación a la mejor, respectivamente) para cada indicador (ver Fig.4). Estos valores se sumaron y reflejaron en índices parciales (ver Fig.5), que luego fueron integrados para obtener un Índice de Sustentabilidad (IS) de cada SB analizado al integrarlos en la matriz de EMC. La escala de evaluación de los resultados obtenidos en función de su Nivel de Sustentabilidad ($IS*100$) fue: 0-20%, muy bajo; 21-40% bajo; 41-60% aceptable; 61-80% alto; 81-100% muy alto.

$$\text{Ec. (5)} \quad f(x) = \frac{x-m}{M-m}$$

$$\text{Ec.(6)} \quad f(x) = \frac{x-M}{m-M}$$

DESARROLLO

La sustentabilidad como marco de análisis

La hipótesis básica de trabajo fue que un SB sustentable para la región debería estar basado en los siguientes eslabones –como partes o elementos- fundamentales: a) la Sustentabilidad, localmente definida, como base de cualquier propuesta; b) la participación como eje transversal necesario para el planteo de los sistemas, su evaluación y su puesta en funcionamiento; c) los recursos, como plataforma para definir escala, aplicación y características de cualquier proyecto bioenergético; d) la tecnología, el conocimiento técnico-científico y los saberes populares, que definen las especificidades para la implementación de los SB; y e) los impactos, considerando la vinculación entre los factores anteriores específicos del proyecto y el contexto. Los aspectos económico-financieros se incluyeron dentro de las categorías de impactos y de tecnologías.

La Fig. 2 muestra los elementos necesarios para lograr SB más o menos sustentables, y constituyen el marco de análisis de las opciones propuestas. Los principios sólidamente definidos de la Sustentabilidad, son la base sobre la cual se asentarán las políticas, proyectos, planes o sistemas. Hay un punto de equilibrio, ya que deben confluir y consensuarse las opiniones de los diferentes actores involucrados. Sin embargo, del balance de los componentes fundamentales que dan cuerpo y altura a los SB (participación, recursos, tecnologías, impactos), depende el futuro de los mismos, como así, de la influencia de los factores externos contextuales (sociales, políticos, económicos, institucionales, ambientales, tecnológicos, etc.). Metodológicamente, cada eslabón se constituyó en un Índice Parcial, que reflejó el valor agregado de los diferentes indicadores definidos en cada caso. La suma de los índices parciales (IP, IR, IT, II), constituyó el Índice de Sustentabilidad (IS) de cada SB analizado.

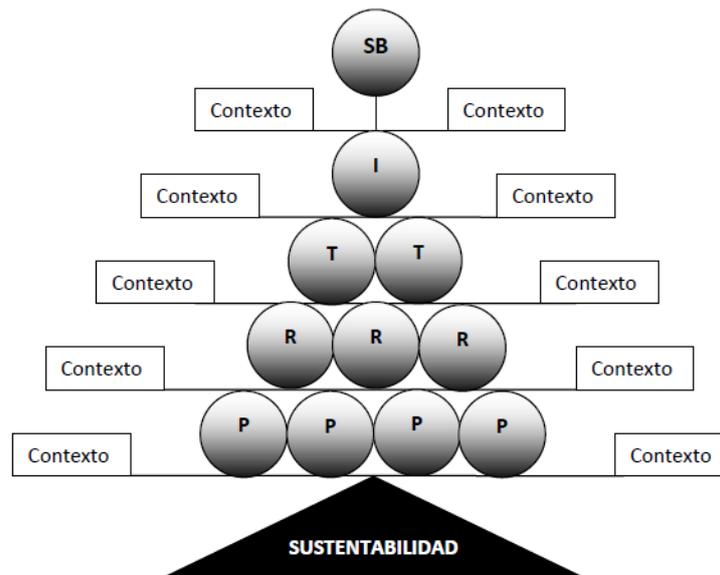


Figura 2. El delicado equilibrio de los sistemas bioenergéticos. Donde P: participación; R: recursos; T: tecnologías; I: impactos; SB: sistema bioenergético.

Participación

Se considera que los enfoques participativos y los procesos colaborativos de generación e intercambio de conocimientos contribuyen a la sustentabilidad y relevancia de los proyectos y facilitan el fortalecimiento de comunidades locales. Así, el eje transversal para el planteamiento de propuestas útiles, ajustadas a la realidad y autónomas a largo plazo, fue el involucramiento de los diferentes sectores y actores vinculados con los proyectos a desarrollarse. En este caso, a pesar del reconocimiento de la demanda energética existente a nivel nacional, interesó enfocar el estudio en la demanda local, considerando que ésta tenía prioridad desde un enfoque de sustentabilidad. Se buscó reducir el universo posible, concentrar esfuerzos, optimizar recursos escasos (tiempo, dinero, personal), y definir SB posibles de desarrollarse en el Valle, que resultaran apropiados y apropiables, para lo cual los actores del proceso tuvieron oportunidades para expresar sus conocimientos, valores, y preferencias sobre el tema en discusión. Por otra parte, la participación externa actuó como disparador de ideas y enriqueció las discusiones, permitiendo –en el consenso- definir los criterios e indicadores para evaluar este “eslabón” (Tabla 2). Los valores medidos para cada indicador se muestran en la Tabla 7 y su normalización se refleja en la Fig.4.

| | Criterio | Indicador | Rango | S | Descripción |
|----|------------------------|--|-------|---|---|
| P1 | Marco legal y político | Leyes que respaldan la actividad (N°) | 0-10 | + | Probabilidad de que continúe existiendo la fuente de generación del recurso y el SB considerando el respaldo político y legal local y nacional. |
| P2 | Aceptabilidad cultural | Respuestas favorables al uso del recurso (%) | 0-150 | + | Percepción sobre el recurso y su interés de uso o aceptación social en el SB propuesto (apropiable). |
| P3 | Condiciones laborales | Cobertura de beneficios sociales en el sistema (%) | 0-100 | + | Condiciones de trabajo actuales que quedarían incluidas dentro del SB (retribución de salario justo, trabajo infantil, beneficios sociales, etc.) |

| | | | | | |
|-----|----------------------------------|---|-------|---|---|
| P4 | Respeto de derechos de propiedad | Fracción de recurso no disponible (%) | 0-100 | - | Restricciones de propiedad particular, restricciones legales de áreas protegidas u otras existentes en la zona. |
| P5 | Organización y vinculación | Población que pertenece a algún tipo de asociación (N°) | 0-150 | + | Vínculos entre actores y sectores mediante cooperativas, asociaciones, que favorezcan contratos y acuerdos de suministro u otros. |
| P6 | Comunicación e información | Población que se vincula con otro sector del Valle (%) | 0-100 | + | Mecanismos de comunicación e intercambio de información entre todos los eslabones de la cadena que facilitará la ejecución de SB. |
| P7 | Acceso a bienes | Población que debe arrendar bienes para producir (%) | 0-100 | - | Cantidad de personas que deberían incurrir en alquileres de herramientas y maquinarias para poner en marcha los SB propuestos. |
| P8 | Mecanismos de persistencia | Subsidio necesario para ejecutar el sistema (%) | 0-100 | - | Subsidio gubernamental financiero o de infraestructura considerando porcentaje sobre el costo total del sistema actual. |
| P9 | Respeto cultural | Fracción de recurso no disponible por otros usos (%) | 0-100 | - | Usos actuales. Usos establecidos del recurso como por ejemplo abono, forraje, artesanías, etc., en % sobre recurso total. |
| P10 | Aplicación | Población que demanda esta aplicación (%) | 0-100 | + | Aplicaciones energéticas o uso final de la biomasa que resulta más demandado en la zona (calórica, eléctrica, etc.) |

Tabla 2. Criterios e indicadores definidos y evaluados para el eslabón P (participación). La letra S refiere a "signo" de la relación.

Recursos

La base biofísica o fuente, es decir, el recurso y sus características, marca el punto de partida de cualquier proyecto de bioenergía. No toda la biomasa potencial identificada en un sitio, puede ser utilizada, ya que existen restricciones de diversa índole y diferentes potenciales de aprovechamiento. Para estudiar los recursos de biomasa del Valle de Lerma se consideraron las siguientes categorías [7,76]: i) biomasa potencial (BP): total generada en el área de estudio, sin tener en cuenta otros usos de la misma; ii) biomasa disponible (BD): fracción de BP que no tiene otros usos ya establecidos, ni restricciones de propiedad o de tipo medioambiental; y iii) biomasa utilizable (BU): fracción de BD que puede ser recolectada, sin barreras técnicas o económicas. Los criterios e indicadores de evaluación de este eslabón se muestran en la Tabla 3 y los valores medidos para cada indicador se muestran en la Tabla 7 y Fig.4.

| | Criterio | Indicador | Rango | S | Descripción |
|----|--------------------------|--|-----------|---|---|
| R1 | Uso del suelo | Superficie total involucrada en la oferta (ha/año) | 1-150.000 | + | Se refiere a la superficie en la que se genera el recurso de biomasa, sin que implique cambio de uso del suelo. |
| R2 | Distribución territorial | Nivel de esparcimiento del recurso (%) | 1-100 | - | Mientras más concentrado se halle el recurso será más fácil aprovecharlo. Se estima % cubierto de la superficie total. |
| R3 | Potencial energético | Bioenergía disponible (GJ/ha.año) | 1-15 | + | Toda la energía que puede obtenerse cuando la biomasa es sometida a algún tipo de proceso de transformación. |
| R4 | Aptitud del recurso | Índice de valor combustible o FVI (adimensional) | 100-1.700 | + | Donde δ : densidad básica; Z: cenizas y W: humedad. $FVI = \frac{P.CI.(Kj/g) \times \delta (g/cm^3)}{Z(g/g) \times W(g/g)}$ |

| | | | | | |
|----|----------------------------|--|----------|---|--|
| R5 | Aptitud del territorio | Biomasa generada (t MS/año) | 1-20.000 | + | Dependerá de la climatología y/o régimen de riego, marco de plantación, especie, entre otros. Se considera peso seco (MS) en unidad de superficie. |
| R6 | Disponibilidad del Recurso | Índice de residuo/producto (adimensional) | 0-1 | + | Accesibilidad física por orografía o porcentajes que naturalmente no pueden ser utilizados (factor de uso posible del recurso adimensional o porcentaje). |
| R7 | Renovabilidad del recurso | Crecimiento de biomasa anual (t/ha.año) | 0-1,5 | + | Para fines energéticos debe utilizarse la biomasa por debajo de su tasa de renovación (cantidad producida/unidad de tiempo). |
| R8 | Especificidad tecnológica | Necesidad de pretratamiento del recurso (N°) | 1 y 4 | - | Necesidad de adecuación del recurso para aplicar un determinado proceso, considerando: reducción humedad, tamaño, compactación o eliminación de componentes no deseados. |

Tabla 3. Criterios e indicadores definidos y evaluados para el eslabón R (recursos).

Procesos-tecnologías

La tecnología, entendida no solo como artefactos sino también como habilidades requeridas para desarrollar, producir y usar artefactos) [77], es un factor clave para proyectos de intervención local de SB. Fue necesario realizar el relevamiento de las opciones de aplicación, junto a las de conversión energética, que implican procesos y tecnologías determinados, señalados por la propia población. Interesaba seleccionar la propuesta tecnológica que presentara mejores cualidades desde el punto de vista local (aceptación, disponibilidad, accesibilidad, conocimiento) y su entrecruzamiento con las experiencias de expertos internacionales en el tema. Los criterios e indicadores para evaluar este eslabón se muestran en la Tabla 4 y los valores medidos para cada SB, en la Tabla 7 y Fig.4. Algunos datos de costos incorporados en los análisis deberán ser revisados en el momento de implementar los SB definidos.

| | Criterio | Indicador | Rango | S | Descripción |
|----|-------------------------------------|---|---------|---|---|
| T1 | Desarrollo de la tecnología | Estado de desarrollo tecnológico (adimensional) | 0-1 | + | Estados de desarrollo a nivel mundial, considerando 0=piloto; 0,5=experimental; 1=comercial. |
| T2 | Eficiencia | Eficiencia total del proceso de conversión (%) | 0-100 | + | Dado que está directamente ligado con un dispositivo particular, puede considerarse el de uso más común. Se expresa en porcentaje. |
| T3 | Consumo de combustible (Heat rate) | Cantidad de energía para producir un kwh (kcal/kwh) | 0-5.000 | - | Es otra manera de expresar la eficiencia eléctrica. Calcula cuán eficientemente un generador usa la energía térmica. |
| T4 | Complejidad tecnológica | Nivel de complejidad (adimensional) | 0 y 1 | - | Tipo de desempeño del proceso en cuanto a nivel de complejidad del mismo. Se considera complejidad alta=0; media=0,5 o baja=1. |
| T5 | Costo de instalación | Costo en % del costo total del proyecto | 1-100 | - | Existen una serie de costos fijos que en el caso de las instalaciones pequeñas tienen más repercusión por kW instalado. Se asumen porcentajes actuales. |
| T6 | Costos de operación y mantenimiento | Costos en US\$/kwh generado | 0,01-5 | - | Las tecnologías que requieren mayores periodos de mantenimiento provocan una mayor dependencia de suministradores externos. Se asumen valores teóricos. |

Tabla 4. Criterios e indicadores definidos y evaluados para el eslabón T (tecnología).

Impactos

Si bien los impactos aparecen arriba de la pirámide, esto no significa que tengan menor nivel de importancia, sino que sólo podrán ser evaluados cuando se hayan considerado las especificidades de cada uno de los SB (recursos, procesos-tecnologías, aplicaciones). Desde un enfoque de sustentabilidad, lograr beneficios en un área como la provisión de energía, por ejemplo, no debería generar nuevos problemas en otras áreas tales como contaminación o degradación de recursos naturales; afectación de modos de vida o desplazamiento de comunidades; avasallamiento de derechos humanos; escasez de alimentos o aumento de precios en los mismos; debilitamiento de las economías regionales; generación de emisiones contaminantes o de GEI, entre otros. Por tanto, el tipo de impactos a ser evaluados y su priorización, debieron ser definidos y consensuados con la participación de los actores involucrados (Tablas 5 y 7 y Fig. 4).

| | Criterio | Indicador | Rango | S | Descripción |
|----|--------------------------------|--|----------|---|--|
| I1 | Acceso a los recursos | Personas que tienen acceso a los recursos (%) | 0-100 | + | La seguridad de suministro energético depende entre otros del acceso a las fuentes de combustibles, en este caso medido en % del total de habitantes. |
| I2 | Amenaza a la biodiversidad | Uso de especies amenazadas (adimensional) | 0-1 | - | Preservación de especies nativas vulnerables, raras, amenazadas o en peligro. Se considera Sí=0 y No=1. |
| I3 | Contaminación aire | Emisión de N total (%) | 0,1-3 | - | En presencia de luz solar, los óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) producen el smog fotoquímico, ozono y/o lluvia ácida. |
| I4 | Satisfacción de demandas | Personas beneficiadas energéticamente (%) | 0-100 | + | Adecuación del proyecto en la satisfacción de las necesidades energéticas detectadas. |
| I5 | Mitigación de GEI | Emisiones evitadas por sustitución de fósiles (tC/año) | 1-10.000 | + | Se considera sólo la sustitución de gas natural, cuyo factor de emisión de carbono es de 15,3 tC/TJ ² , su densidad es de 0,75 t/m ³ y PCI de 8800 kcal/m ³ N.) |
| I6 | Conservación de sumideros | Secuestro de carbono aéreo (tC/ha) | 0,1-80 | + | El <i>secuestro de carbono</i> es un incremento en cualquier reservorio no atmosférico. Este dato permitirá estimar el balance de carbono total del ciclo o sistema bioenergético. |
| I7 | Experiencia popular | Población que conoce la tecnología (%) | 0-100 | + | Nivel de conocimiento o experiencia en el manejo del proceso/tecnología por parte de la población destinataria. |
| I8 | Impacto económico en la región | Capacidad de ahorro por empleo de biomasa (%) | 1-100 | + | Ahorro de gasto en combustibles fósiles por uso de biomasa en cada hogar en particular, contribuyendo al alivio en la economía individual y local. |
| I9 | Dependencia de inputs externos | Gasto en insumos (%) | 1-100 | - | Se considera el % de gastos en insumos, repuestos, y otros externos sobre el costo total de producción, para poner en marcha el SB. |

Tabla 5. Criterios e indicadores definidos y evaluados para el eslabón I (impactos).

Los sistemas bioenergéticos propuestos

Las clases de coberturas de suelo (asociadas con uno o más tipos de recursos de biomasa) identificadas en el Valle de Lerma, se muestran en la Fig.3. La superficie total cubierta de vegetación a es de 412.000 ha y el resto corresponde a cuerpos de agua, caminos, zonas urbanas, etc.

² Ver otros factores de emisión de carbono para combustibles fósiles en [78].

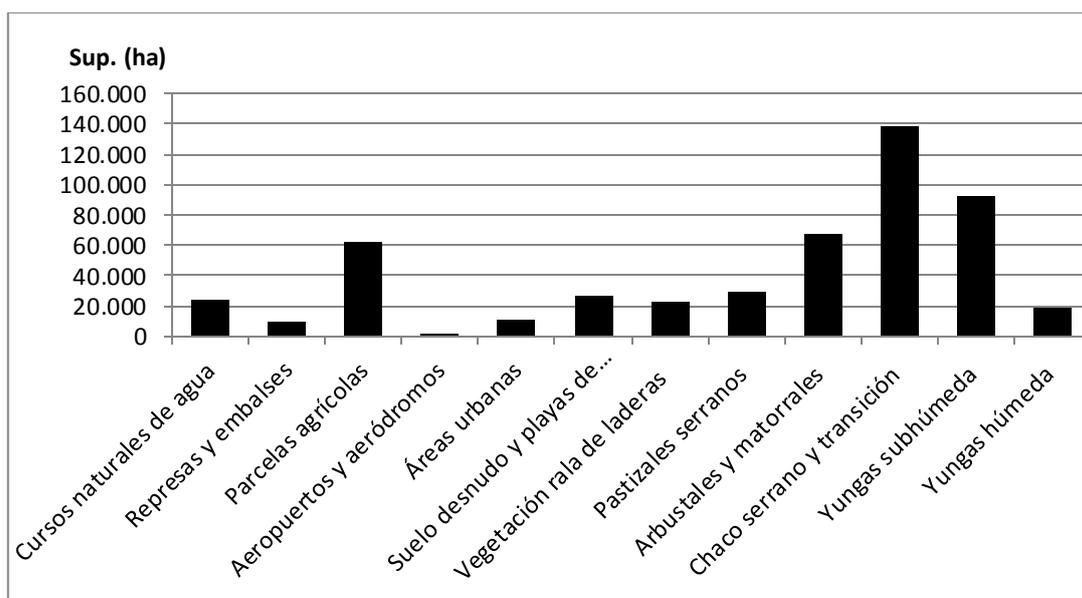


Figura 3. Superficie ocupada por las principales clases de cobertura de suelo del Valle de Lerma (Salta).

Los SB que mostraron mayor interés en la población participante y su importancia relativa (cantidad de respuestas favorables sobre el total) fueron leña para combustión en hornos y estufas eficientes (56%), residuos agrícolas para estufas de tabaco (23%), RSU para generación de biogás en un relleno sanitario regional (14%), residuos ganaderos y efluentes industriales (3% cada uno, sin definición de sistemas específicos) y, por último, residuos forestales para aplicaciones diversas (1%). Los principales ecosistemas identificados, que podrían aportar leña bajo condiciones de manejo son [79]: Chaco, Yungas y arbustales. Dentro del ecosistema de arbustal se identificaron y relevaron particularmente cuatro especies de Acacias (*Acacia caven*, *A. aroma*, *A. furcatispina* y *A. praecox*) de mayor frecuencia y densidad, y se consideraron en su oferta de biomasa particular. Se trabajaron los tres principales SB definidos que se muestran en la Tabla 6.

| SB | Recurso | Proceso | Tecnología | Producto | Aplicación |
|----|--------------------------------|----------------------|---|---------------|---------------------------------------|
| A | Residuos sólidos urbanos (RSU) | Digestión anaeróbica | Relleno sanitario y motor de combustión interna | Biogás | Electricidad |
| B | Leña de Acacias | Combustión | Hornos y estufas mejorados y/o motores Stirling | Calor y gases | Calor o electricidad a pequeña escala |
| C | Residuos agrícolas | Combustión | Estufas y hornos mejorados | Calor y gases | Calor de proceso |

Tabla 6. Los SB definidos para el Valle de Lerma. Las letras A, B, y C designan cada uno de los SB. Para "residuos agrícolas" se incluyen residuos de tabaco Criollo, tabaco Virginia y ají, y los datos computados en Tabla 7 en todos los casos se corresponden con un valor promedio.

En el caso de los RSU se consideró la cobertura de demanda eléctrica por hogar tomando el valor mencionado en CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica, 2007), y utilizados en el Documento de Referencia de la Huella de Carbono (SAyDS, 2008) de consumo de 1.200 kWh/cápita.año. Se aplicó un valor de eficiencia de 28% de los motores de combustión interna (MACI). En el caso de leña de Acacias, se consideró el % de cobertura de la demanda de leña para

estufas de secado de tabaco (que en total se aproxima a las 55.400 t/año, Manrique y Franco, 2012). Sólo en los casos en que se requirió los valores comparables, se estimó la posibilidad de generación eléctrica mediante un motor Stirling de pequeña escala. Para residuos agrícolas, dado que la demanda de leña para el secado de tabaco en estufas no es cubierta por la leña anual obtenida por manejo de las Acacias, se estimó también como % de esta demanda. Los valores de los indicadores obtenidos para cada SB se muestran en la Tabla 7 (Anexo) y su normalización en la Fig. 4.

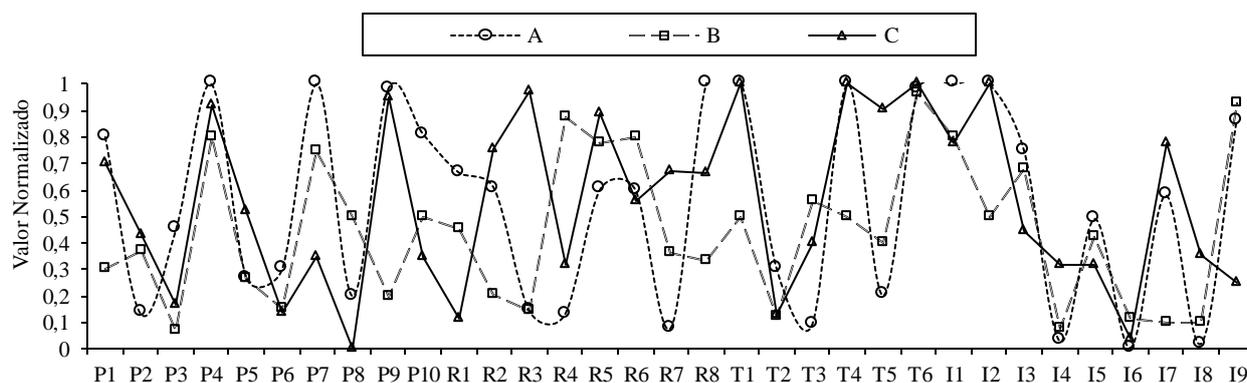


Figura 4. Valores normalizados de los indicadores para cada uno de los SB considerados.

Evaluación (Multi-Criterio) de la Sustentabilidad

Los valores ingresados en la matriz de EMC muestran los resultados de la Fig.5, donde se destaca la participación relativa de cada uno de los Índices Parciales considerados (IP, IR, IT, II). A simple vista puede notarse que ninguno de los tres SB propuestos alcanza un nivel de sustentabilidad “muy alto” (más de 81%), pero tampoco muestra un nivel “muy bajo” (menos de 20%). Esto implica que cada uno de los SB definidos podría, en primera instancia, ser implementado en la zona de estudio con mayores beneficios que perjuicios.

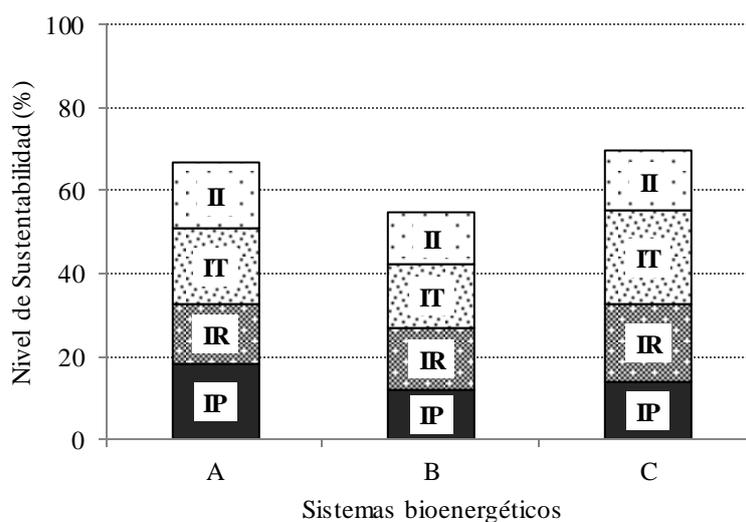


Figura 5. Análisis de Sustentabilidad de los SB propuestos para el Valle. Las letras corresponden: IP, índice de participación; IR, índice de recursos; IT, índice de tecnologías; II, índice de impactos.

Las debilidades y amenazas detectadas para los SB (reflejado en bajos valores de los indicadores medidos) son las que deberán ser trabajadas a fin de elevar su “nivel de sustentabilidad”, y posiblemente, si no hay consensos locales, el SB no debería ser implementado. Los indicadores específicos de un SB que muestran bajos valores, en algunos casos pueden constituirse en “banderas rojas”, es decir, aspectos que repercutirán en magnitud o dirección de manera irreversible en el medio en el que se proyecta su empleo, por lo que si bien se rescatan aspectos positivos que permitirán avanzar hacia mayores niveles de sustentabilidad, éstos quizás no compensan en su conjunto a uno o dos de los indicadores negativos. Por tanto, el umbral de decisión (es decir, qué “nivel de sustentabilidad” será considerado para definir cuál sistema implementar y cuál no) definido localmente para la toma de decisiones de implementación, también es un componente clave para asegurar el éxito del SB en la zona. Ahora bien, dado que el resultado total enmascara los indicadores evaluados en cada caso (al interior de los Índices Parciales), y no permite detectar los aspectos más débiles de los SB pero tampoco sus fortalezas, es necesario explorar en detalle cada uno. Observando la Fig.6 puede notarse que la superficie sombreada que representa el IS del sistema, es irregular y escasa, mostrando un sistema que responde muy bien en ciertos indicadores (altos valores) y muy mal en otros (donde obtiene muy bajos valores). Un sistema ideal, sería aquel que mostrara un diagrama con una distribución regular entre sus indicadores y con un área sombreada de 100%. Posiblemente éste podría ser en algunos casos, el umbral de decisión más cauto, pero quizás no el más adecuado a la realidad local, en función de las demandas y necesidades.

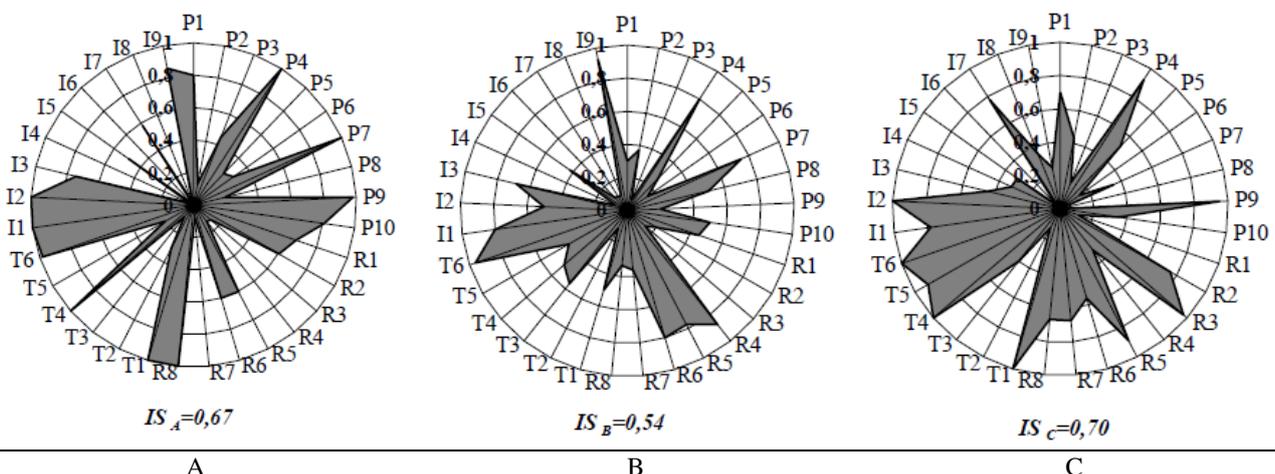


Figura 6. Representación del IS, donde puede verse el comportamiento total de cada SB analizado, y el aporte individual de cada indicador.

De manera general puede reconocerse que, analizando los valores actuales de cada uno de los indicadores de los SB propuestos, existen perspectivas bioenergéticas y de mitigación de GEI positivas para el Valle de Lerma, si bien de diferente magnitud. De los sistemas analizados, el que mayor IS presenta es el sistema “C”, de aprovechamiento de residuos agrícolas (restos de cultivos de

tabaco Virginia, Criollo y ají) para las estufas de secado de tabaco, que muestra una gran aceptación, conocimiento de la tecnología, cualidades de los recursos y fortalezas locales (el IS es de 0,7). Se contaría con cerca de 46.000 Gcal/año, a partir de 18.000 t (peso seco) de residuos generados desde estas producciones en una superficie cultivada anualmente de 17.300 ha en promedio (Tabla 7). Su aprovechamiento para las estufas de secado de tabaco (u otras demandas calóricas de los ciclos de producción de estos cultivos) posibilitarían reemplazar -según el tipo de estufas- gas natural o leña obtenida actualmente sin ningún plan de manejo de los ecosistemas locales.

De cerca le sigue el sistema A (IS= 0,67) de aprovechamiento de RSU mediante digestión anaeróbica en un relleno sanitario regional (que es un proyecto actual de la provincia) para producir electricidad (se considera un 70% de valorización del biogás). Se generan en el Valle de Lerma cerca de 24.100 t (peso húmedo) anuales, con un potencial energético de 9.000 Gcal/año, que podría ser utilizado en alumbrado público, por ejemplo, o beneficiar a cerca de 2.200 personas.

En último lugar, aunque no muy lejano a los dos SB anteriores, se encuentra el aprovechamiento de leña de Acacias para calor de proceso (y/o para generación de electricidad a pequeña escala), con un IS de 0,54. Las especies estudiadas se encuentran dispersas en una superficie de 68.000 ha, y en algunos sectores se encuentran formando bosques casi puros. Se contaría con cerca de 50.900 Gcal/año a partir de una oferta leñosa anual de 15.500 tMS. Para poner en ejecución este SB es necesaria una fuerte intervención gubernamental para implementar planes de manejo que permitan la renovación de los arbustales, acompañados de sistemas de monitoreo y control. Los principales ecosistemas identificados en la zona, sólo con adecuados planes de manejo podrían ser utilizados de manera complementaria para lograr los objetivos mencionados (energía calórica), sin los cuales podrían verse afectados en su biodiversidad y posibilidades de subsistencia.

Más allá de las especificidades de cada uno de los SB analizados, que pueden ser largamente discutidas, los análisis reflejan la realidad de los sistemas complejos que intentan ser abordados por la ciencia de la sustentabilidad: el análisis de uno o pocos aspectos del sistema, no permite la toma de decisiones acertada sobre los mismos. Es decir, tener una amplia superficie de un recurso, o con excelentes cualidades combustibles o capacidad de mitigación de GEI, o una tecnología disponible localmente, o fácilmente apropiable y “más limpia”, no conduce a una conclusión efectiva sobre las bondades de un SB –en este caso- ni permite la toma directa de decisiones sobre su implementación. Al igual que en otros sistemas, las innumerables interrelaciones que se retroalimentan unas a otras, pueden actuar en sinergia o generando lo que actualmente se denomina como “fugas”, es decir efectos no deseados en otro sitio u otro aspecto no contemplado, si es que no son debidamente estudiadas. Una conclusión insoslayable de los análisis realizados es que debe asumirse como imprescindible para la toma de decisiones en proyectos de bioenergía, la conformación de equipos

multidisciplinarios, que integren no sólo múltiples perspectivas de análisis sino también que incluyan las múltiples miradas del mismo (de los diferentes sectores y actores involucrados). El rol de la ciencia y los científicos es muy importante en el proceso de obtener y comunicar la información necesaria para reducir el riesgo inherente a todo proceso de toma de decisiones en condiciones de incertidumbre, pero este proceso exige amplia participación social y requiere del uso de metodologías específicas. Para que la incipiente ciencia de la sustentabilidad contribuya con soluciones prácticas a los problemas actuales, es imprescindible la cooperación estrecha entre gobiernos, investigadores, empresarios, comunidades y todos los actores directa o indirectamente afectados o interesados en cada problema o proyecto en particular. Con esta premisa, la generación de *conocimiento* pasará de las esferas académicas a lograr la *integración* de sectores y regiones a la corriente que conduce hacia mayores niveles de *sustentabilidad*, en los cuales los eslabones se encuentran balanceados en su justo punto de equilibrio.

CONCLUSIONES

Si bien el abordaje del objeto de estudio –biomasa– se realizó considerando múltiples dimensiones y perspectivas, existe una compleja conjunción de factores, elementos, interrelaciones, energías, coyunturas temporales, que entran en sinergia y en sintonía en la constitución concreta de cada SB definido para el Valle de Lerma (Salta) y de sus aspectos relacionales individuales. Aún las partes aparentemente más simples están conformadas por interrelaciones entre sus componentes y con el entorno que las rodea (contexto territorial, temporal y humano) y el mismo sujeto que analiza no se sitúa al margen de esta realidad, sino que es parte del proceso de la realidad y de su conocimiento reflejo. Por tanto, la exploración, descripción, explicación y evaluación de las partes de los SB estudiados no agotaron el conocimiento sobre los mismos, y por otra parte, los análisis parciales realizados mostraron resultados diferentes a los obtenidos cuando se evaluaron todos en su conjunto (desde el marco de análisis de “sustentabilidad”). El marco analítico construido posibilitó por tanto, conocer el comportamiento integral comparativo de tres SB, y permitirá asimismo, testear las tendencias de cada sistema, evaluando idénticos indicadores en el tiempo. La implementación de los SB más sustentables localmente, conducirá a la población del Valle de Lerma a una situación más sustentable por definición. El estudio realizado brinda un aporte significativo en tres direcciones: i) generación de conocimientos científico-técnicos para el manejo planificado de la biomasa del Valle de Lerma, principalmente en función de su potencial de mitigación de GEI y su potencial bioenergético; ii) construcción y desarrollo de metodologías novedosas de análisis y evaluación de sustentabilidad, y iii) contribución de resultados específicos en el campo de la bioenergía, que permitirá lograr la integración de sectores y regiones con propuestas concretas, direccionándolos hacia niveles de mayor sustentabilidad local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pasquevich, D. **La creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales**. Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable. Comisión Nacional de Energía Atómica. Argentina. 2012.
- [2] SEN (Secretaría de Energía de la Nación). **Matriz Energética**. 2012. www.energia3.mecon.gov.ar
- [3] IAE (Instituto Argentino de la Energía “General Mosconi”). Informe: **evolución de las reservas de hidrocarburos en Argentina entre 2002 y 2011**. Compilador Luciano Caratori. Argentina. 2012.
- [4] Montamat, D.G. **Una estrategia energética sustentable para el siglo XXI: gas natural de la región y paulatina inserción de fuentes primarias alternativas**. Plan Energético 2005-2020. Buenos Aires. 109 p. 2005.
- [5] Ezzati, M., Bailis, R., et al. **Energy management and global health**. *Rev. Env. Res* 29, 383–419. 2004.
- [6] IPCC (Intergubernamental Panel Climate Change). **Cambio climático: Informe de síntesis**. Ginebra, Suiza, 2007.
- [7] Angelis-Dimakis, A.; Biberacher, M.; et al. **Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources**. *Ren. Sust. Ener. Rev.* 15:1182–1200. 2011.
- [8] Baños, R.; Manzano-Agugliaro, F.; et al. **Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review**. *Ren. Sust. Ener. Rev.* 15:1753–1766. 2011.
- [9] Dedeurwaerdere, T. **Sustainability Science for Strong Sustainability**. Université Catholique de Louvain. SR-FNRS. 2013.
- [10] Zhang, F.; Cooke, P. **Global and regional development of renewable energy**. Project “Green innovation and entrepreneurship in Europe” funded EU FP6. 2009. <http://www.dimeeu.org/working-papers/sal3-green>.
- [11] Cicerone, R.J.; Vest, C.M. **Electricity from Renewable Resources: Status, Prospects, and Impediments**. America's Energy Future Panel. NRC. Academies Press. 2009.
- [12] Borges de Oliveira, S.V.W.; Bevilacqua Leoneti, A.; et al. **Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property**. *Biomass and bioenergy* 35: 2608-2618. 2011.
- [13] Sardianou, E.; Genoudi, P. **Which factors affect the willingness of consumers to adopt renewable energies?** *Ren. En.* 57: 1-4. 2013.
- [14] FAO (Food and Agricultural Organization). **Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina - WISDOM Argentina- Departamento Forestal**. Proyecto TCP/ARG/3103. 118 p. 2009.
- [15] EUBIA (European Biomass Industry Association). www.eubia.org. Acceso 24/02/2013.
- [16] Karekezi, S., Lata, K. y Coelho, S.T. **Traditional biomass energy**. Improving its use and moving to modern energy use. Bonn. 2004.
- [17] IEA (International Energy Agency). **Key world energy statistics**. Paris (France): OECD/IEA. 2012.
- [18] Hatje, W.; M. Ruhl. **Use of biomass for power and heat generation: possibilities and limits**. *Ecol. Eng.* 16: 41-49. 2000.
- [19] Demirbas, A. **Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues**. *Prog. Ener. Comb. Scie.* 31:171–92. 2005.
- [20] Balat, M.; Balat, M.; et al. **Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals**. *Ener. Conv. Man.* 50: 3147-57. 2009.
- [21] Stolarski, M.J.; Szczukowski, S.; et al. **Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass**. *Ren. Energy* 57: 20-26. 2013.
- [22] Hoogwijk, M.; Faaij, A.; et al. **Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios**. *Biom. Bioen.* 29:225–57. 2005.
- [23] Demirbas, M.F.; Balat, M. y Balat, H. **Potential contribution of biomass to the sustainable energy development**. *Ener. Conv. Manag.* 50: 1746–1760. 2009.
- [24] Bauen, A.; Woods, J. y Hailes, R. **Bioelectricity vision: achieving 15% of electricity from biomass in OECD countries by 2020**. WWF and Aebiom. United Kingdom Ltd. 2004.
- [25] Lechón, Y.; Cabal, H.; et al. **Energy and greenhouse gas emission savings of biofuels in Spain's transport fuel**. The adoption of the EU policy on biofuels. *Biom. Bioen.* 33:920–932. 2009.
- [26] Bollino, C.A.; Polinori, P. **Sustainability: Will there be the will and the means?** Pags 137-164. In: *Energy, Sustainability and the Environment*. Ed. F. Sioshansi. Menlo Energy Economic. Elsevier. 2011.
- [27] Felten, D.; Fröb, N.; et al. **Energy balances and greenhouse gas-mitigation potentials of bioenergy cropping systems based on farming conditions in Western Germany**. *Ren. Ener.* 55:160-174. 2013.
- [28] Kirschbaum, M.U.F. **To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels**. *Biom. Bioen.* 24, 297– 310. 2003.

- [29]Krajnc, N.; Domac, J. **How to model different socio-economic and environmental aspects of biomass utilisation**: Case study in selected regions in Slovenia and Croatia. *Energy Policy* 35, 6010–6020. 2007.
- [30] Zhang, X.; Yan, S.; et al. **Energy balance and greenhouse gas emissions of biodiesel production from oil derived from wastewater and wastewater sludge**. *Ren.Energy* 55:392-403. 2013.
- [31]Farrell, A.E.; Plevin, R.J.; et al. **Ethanol can contribute to energy and environmental goals**. *Science* 311:506-8. 2006.
- [32]Alder, P.R.; Grosso, S.J.D. y Parton, W.J. **Life cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems**. *Ecol.Applic.*17: 675–91. 2007.
- [33]Gibbs, H. K.; Johnston, M.; et al. **Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics**: The effects of changing yield and technology. *Environ.Res.Letters* 3: 10pp. 2008.
- [34]Sarandón, S.J.; Iermanó, M.J. **Sustainability of the production of biodiesel as an alternative fuel in Argentine Republic**. III Congreso Brasileiro de Agroecología, Florianópolis, SC, Brasil. 2005a.
- [35]Salomon, O.D.; Orellano, P.W.; et al. **Transmisión de la Leishmaniasis tegumentaria en la Argentina**. *Medicina* 66, 211-219. 2006.
- [36]Lamers, P. **Emerging liquid biofuel markets: A dónde va la Argentina?**. IIEE Thesis: Lund, Sweden. 2006.
- [37]Van Dam, J.; Faaij, A.P.C.; et al. **Large-scale bioenergy production from soybeans and switchgrass in Argentina**. Environmental and socio-economic impacts on a regional level. *Ren.Sust.En.Rev.*13, 1679–1709. 2009.
- [38]Panichelli, L. ; Dauriat, A. y Gnansounou, E. **LCA of soybean-based biodiesel in Argentina for export**. *I.J.LCA* 14,144–159. 2009.
- [39]Tomei, J.; Upham, P. **Argentinean soy-based biodiesel: an introduction to production and impacts**. Tyndall Working Paper 133. /http://tyndall.ac.uk/ publications/working_papers/twp133.pdfS. 2009.
- [40]Rodríguez, A.M.; Jacobo, E.J. **Glyphosate effects on floristic composition and species diversity in the Flooding Pampa grassland (Argentina)**. *Agric.Ecosyst.Environ.*(2010),doi:10.1016/j.agee.2010.05.003
- [41]Affuso, E.; Hite, D. **A model for sustainable land use in biofuel production**: An application to the state of Alabama. *Energy Econ.*37:29-39. 2013.
- [42]Minagri (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). **Proyecto Probiomasa**. *Revista MINAGRI* 9 (2). 2012.
- [43]Esteva, I. **Development**. In Sachs, W. *The development dictionary: a guide to knowledge as power*. Londres, Zab, 6-25. 1992.
- [44]Bressers, H. **Implementing sustainable development: how to know what works, where, when and how**, in W.M. Lafferty (ed.), *Governance for Sustainable Development: the challenge of adapting form to function*. Edward Elgar. 2004.
- [45]RAMIREZ, H.E. **Desarrollo, subdesarrollo y teorías del desarrollo en la perspectiva de la geografía crítica**. *Rev. Esc. Hist.* 7 (2). 2008. ISSN 1669-9041.
- [46]Merchant, C. **The scientific revolution and The Death of Nature**. *Isis* 97: 513-533. 2006.
- [47]Jerneck, A.; Olsson, L.; et al. **Structuring sustainability science**. *Sustainability Science* 6: 69-82. 2010.
- [48]Salas-Zapata, W.; Ríos-Osorio, L. y Álvarez-Del Castillo, J. **La ciencia emergente de la sustentabilidad: de la práctica científica hacia la constitución de una ciencia**. *Interciencia* 36(9). 2011.
- [49] Anderson, M.W.; Teisl, M. y Noblet, C. **Giving voice to the future in sustainability**: Retrospective assessment to learn prospective stakeholder engagement. *Ecol.Econ* 84:1–6. 2012.
- [50] Foladori, G; Pierri, N. (Coord.) **¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable**, Colección América Latina y el Nuevo Orden Mundial. México. ISBN 970-701-610-8. 2005.
- [51]WCED (World Commission on Environment and Development). **Our Common Future**. Oxford University Press. 1987.
- [52]Holden, E. y Linnerud, K. (2007). **The Sustainable Development Area**: satisfying basic needs and safeguarding ecological sustainability. *Sustainable Development* 15, 174–187.
- [53] Lindmark, M.; Acar, S. **Sustainability in the making?** A historical estimate of Swedish sustainable and unsustainable development 1850–2000. *Ecol.Econ.* 86:176–187. 2013.
- [54]Kates, R.W. **What kind of a science is sustainability science?** *PNAS* 108 (49), 19449–19450. 2011.
- [55] White, M.A. **Sustainability: I know it when I see it**. *Ecol.Econ.*86: 213–217. 2013.
- [56]Clark, W.; Dickson, N. **Sustainability science**: the emerging research program. *PNAS*100:8059-61. 2003.
- [57]Fiksel, J. **Sustainability and resilience: toward a systems approach**. *Sus.Sci.Pract. Policy* 2: 14-21. 2006.

- [58]Ríos, L.; Ortiz, M. y Álvarez, X. **An epistemology for sustainability science**: a proposal for the study of the health/disease phenomenon. *Int. J. Sust. Dev. World* 16: 48-60. 2009.
- [59]Kajikawa, Y. **Research core and frame work of sustainability science**. *Sustainability Science* 3: 215-239. 2008.
- [60]Haas, R.; Nakicenovic, N.; et al. **Towards sustainability of energy systems**: A primer on how to apply the concept of energy services to identify necessary trends and policies. *Energy Policy* 36: 4012-4021. 2008.
- [61] Gasparatos, A.; Scolobig, A. **Choosing the most appropriate sustainability assessment tool**. *Ecol.Econ* 80:1-7. 2012.
- [62]Ness, B.; Piirsalu, E.U.; et al. **Categorising tools for sustainability assessment**. *Ecol.Econ* 60:498- 508. 2007.
- [63]Bond, A.J.; Morrison-Saunders, A. y Pope, J. **Sustainability assessment**: the state of the art. *I.Ass.Proj.App.*30:53-62. 2012.
- [64]Pintér, L.; Hardi, P.; et al. **Bellagio STAMP**: principles for sustainability assessment and measurement. *Ecol.Indic.*17:20-8.2012.
- [65]Núñez, V.; Moreno, R.; et al. **Cartografía digital proyecto CIUNSA 1345**. CIUNSA. 2007.
- [66]INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). <http://www.Indec.Gov.Ar/Webcenso/Index.Asp>. 2011.
- [67]Blake, G.R. y Hartge, K.H. **Bulk density**. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis*. ASA and SSSA, Madison, WI: 363-375. 1986.
- [68]Brown, S.; Gillespie, A.J.R. y Lugo, A.E. **Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data**. *Forest Science* 35 (4), 381-902. 1989.
- [69]Chave, J.J.; Andalo, C.; et al. **Tree Allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests**. *Oecologia* 145, 87-99. 2005.
- [70]Zhou, X.; Brandle, J.R.; et al. **Developing above-ground woody biomass equations for open-grown, multiple-stemmed tree species**: shelterbelt-grown Russian- Olive. *Ecol.Model.*202, 311-323. 2007.
- [71]Macdicken, K.G. **A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects**. F. C. M. P. Winrock International Institute for Agricultural Development; 1997.
- [72]Solomon, D.S.; Hughey, K.F.D. **A proposed Multi Criteria Analysis decision support tool for international environmental policy issues**: a pilot application to emissions control in the international aviation sector. *Envir.Sc.Policy* 10, 645-653. 2007.
- [73]Buchholz, T.; Rametsteiner, E; et al. **Multi Criteria Analysis for bioenergy systems assessments**. *Energy Policy* 37: 484-495. 2009.
- [74] Stewart, J.; French, S. y Rios, J. **Integrating Multicriteria decision analysis and scenario planning**. *Omega* 41: 679-688. 2013.
- [75]UNDP (United Nations Development Programme). **Sustainability and equity**: a better future for all. 2011. New York, USA.
- [76]Puigdevall, J.; Galindo, D. **Energía de la Biomasa**. Módulo de la Maestría en EERR de la Universidad de Zaragoza, España. 2007.
- [77]Seghezzo, L. **Desarrollo a Secas, Desarrollo Sustentable y Sustentabilidad**. Curso de Postgrado. Ciencias Naturales. UNSa. Argentina. 2008.
- [78]Barros, V. et al. **Primera Comunicación Nacional de la República Argentina** a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Inventario de GEI sector transporte. Argentina. 1999.
- [79]Cabrera, A.L. **Regiones Fitogeográficas Argentinas**. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Ed. ACME SACI, Buenos Aires. 1994.

ANEXO. Valores de cada indicador medidos para los SB del Valle de Lerma.

| Indicador | Unidad | SB | | |
|-----------|-----------|---------|--------|--------|
| | | A | B | C |
| | | Valor | valor | Valor |
| P1 | Nº | 8 | 3 | 7 |
| P2 | % | 20 | 56 | 65 |
| P3 | % | 45 | 7 | 17 |
| P4 | % | 0 | 20 | 8 |
| P5 | Nº | 40 | 40 | 78 |
| P6 | % | 30 | 15 | 14 |
| P7 | % | 0 | 25 | 65 |
| P8 | % | 80 | 50 | 100 |
| P9 | % | 2 | 80 | 5 |
| P10 | % | 81 | 50 | 35 |
| R1 | ha/año | 100.000 | 68.000 | 17.315 |
| R2 | % | 40 | 80 | 25 |
| R3 | GJ/ha.año | 3 | 3 | 14,6 |
| R4 | Adim. | 307 | 1500 | 603 |
| R5 | t MS/año | 12.050 | 15.476 | 17.800 |
| R6 | Adim. | 0,6 | 0,8 | 0,56 |
| R7 | t/ha.año | 0,12 | 0,54 | 1,01 |
| R8 | Nº | 1 | 3 | 2 |
| T1 | Adim. | 1 | 0,5 | 1 |
| T2 | % | 30 | 12 | 13 |
| T3 | kcal/ kwh | 4.536 | 2.200 | 3.000 |
| T4 | Adim. | 0 | 0,5 | 0 |
| T5 | % | 80 | 60 | 10 |
| T6 | US\$/kwh | 0,1 | 0,2 | 0,01 |
| I1 | % | 100 | 80 | 78 |
| I2 | Adim. | 0 | 0,5 | 0 |
| I3 | % | 0,84 | 1,02 | 1,71 |
| I4 | % | 3 | 7,62 | 32 |
| I5 | tC/año | 4.908 | 4.220 | 3.153 |
| I6 | tC/ha | 0,45 | 9 | 3,11 |
| I7 | % | 58 | 10 | 78 |
| I8 | % | 3 | 11 | 36 |
| I9 | % | 15 | 8 | 75 |

Tabla 7. Valores estimados para cada uno de los indicadores trabajados en la investigación.