

Universidad de Matanzas
SEDE "CAMILO CIENFUEGOS"
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Química e Ingeniería Química



**Evaluación técnico-económica y ambiental de la aplicación de
residuales para la sustentabilidad del agroecosistema cañero en la
UEB "Jesús Rabí"**

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Químico.

Autor: Yavay Sánchez Estenoz

Tutor(s): Ing. Yasmany García López

Ing. Alejandro Bermúdez Rojas

Consultante: Ing. Reinaldo Díaz, MsC.

Matanzas, 2015

Considero más valiente al que conquista sus deseos que al que conquista a sus enemigos, ya que la victoria más dura es la victoria sobre uno mismo.

Aritóteles

Dedicatoria

A:

Mi familia y en especial mis padres y abuelos que son mi mayor estímulo para continuar superándome.

Agradecimiento

En primer lugar a mí querida familia: padres, abuelos, a mis hermanas Daniela y Melisa, mi madrina Anna Kuball y mi primo Yoan, que desde posiciones diferentes me brindaron comprensión, seguridad y confianza para que todo concluyera exitosamente.

A mis tutores Yasmany y Alejandro por ser ejemplos de optimismo y constancia.

A mi consultante Filo, por sus instrucciones y experiencia competitiva.

A mi asesora Daily, que con su inteligencia y talento profesional aportó valiosas ideas en la parte práctica de este proyecto.

A Yanay por el impulso y la confianza que depositó en mí.

A mis profesores por darme la posibilidad de adquirir un mayor nivel científico y profesional.

A una antigua colega de estudio que me dedicó largas horas de su tiempo y preparó mi camino para seguir adelante.

A mis amigos de batalla y compañeros de estudio, en especial a la 101, por la solidaridad y respaldo que les caracteriza.

A todos los que impulsaron mi sueño y confiaron en mí.

Muchas Gracias.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Yavay Sánchez Estenoz, me declaro como único autor de esta investigación realizada en la Universidad de Matanzas, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Químico y autorizo que la misma sea utilizada por la mencionada Institución como material de consulta. Para que así conste, debajo firma:

Yavay Sánchez Estenoz

Contenido	
Introducción	1
Capítulo 1. Análisis Bibliográficos	5
1.1 El origen de la problemática ambiental	5
1.2 Las acciones pro-naturaleza	6
1.2.1 Del desarrollo sostenible a los servicios ecosistémicos	7
1.2.2 Los servicios ecosistémicos	8
1.2.3 Clasificación de los servicios ecosistémicos según la evaluación de los ecosistemas del milenio.	10
1.3 Enfoque sistémico	12
1.5 Ecosistemas & agroecosistema	16
1.6 El uso de fertilizantes inorgánicos	17
1.7 Servicio de aprovisionamiento (Agua)	17
1.8 El uso de agua	18
1.8.1 Aguas industriales	19
1.8.2 Sistemas de riego	19
1.9 Aguas residuales como alternativa para disminuir el consumo de agua potable y los gastos en fertilización	20
1.9.1 Clasificación de las aguas residuales	20
1.9.2 Tratamiento de las aguas residuales	22
1.9.3 Aguas residuales de la fabricación de azúcar	23
1.9.4 Características generales de los residuales industriales	23
1.10 Estrategias de manejo para la aplicación de residuales	25
Conclusiones parciales	27
Capítulo 2. Materiales y Métodos	28
2.1 Organización y estructura de la agroindustria cañera	28

2.2 Identificación y manejo de servicios ecosistémicos.....	30
2.3 Fertilización de la caña de azúcar	30
2.4 Alternativa a la fertilización inorgánica.....	31
2.5 Descripción del proceso tecnológico para la gestión de residuales	32
2.6 Procedencia de efluentes líquidos Industriales	33
2.7 Bases de Diseño (Balances).....	34
2.7.1 Características de los residuales	34
2.7.2 Parámetros de diseño.....	35
2.7.3 Fórmulas y criterios utilizados.....	36
2.8 Diagramas del manejo de residuales para fertirriego	39
2.9 Determinación del caudal.....	43
2.10 Aspectos básicos para la determinación de las características del suelo... 43	
2.10.1 Muestreo de suelo.....	43
2.10.2 Determinaciones analíticas realizadas a las muestras de suelo	44
Conclusiones parciales	47
Capítulo 3. Resultados y Discusión	48
3.2 Reposición de nutrientes.....	51
3.3 Alternativa a la fertilización mineral	53
3.3.1 Categoría de Fósforo y Potasio asimilables en zonas adyacentes a las lagunas de residuales.....	53
3.3.2 Distribución de las precipitaciones.....	55
3.3.3 Evapotranspiración de la caña de azúcar para diferentes ciclos de siembra y cosecha	55
3.4 Características del sistema para aplicar residual	56
3.4.1 Resultados del diseño.....	57
3.4.2 Selección de la ruta crítica	58

3.5 Resultados del diseño hidráulico	58
3.5.1 Estación de bombeo	63
3.6 Cantidad de fertilizantes minerales para diferentes variantes.....	64
3.7 Determinación de los costos del sistema para la aplicación de residuales...	65
Conclusiones parciales	66
Conclusiones.....	67
Recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	69
Anexos	

Nomenclatura utilizada en el desarrollo del caso de estudio

IPROYAZ: Instituto de Proyectos Azucareros

EB #1: Estación de bombeo #1

EB #2: Estación de bombeo #2

N_b : Norma bruta en m³/ha

A_c : Área de cultivo en ha

A : Área de la sección mojada en (m)²

T : Dias para dar un riego = 0,8* (IR)

IR: Intervalo de riego

t : Tiempo (horas de riego diarias)

H_f : Pérdidas por fricción en tuberías (m)

Q : Caudal en l/s-m³/s

D : Diámetro interior de la tubería en (m)

L : Longitud de la tubería en (m)

C : Coeficiente de rugosidad del material

CDT NEC: Carga dinámica total (m)

C, HIDRANTE: Carga necesaria en el hidrante (m)

D_e : Diámetro exterior

D_i : Diámetro: interior

DIAM: Diámetro

DESN TOPO: Desnivel topográfico medido desde la succión hasta la salida del aspersor en el punto crítico (m)

LONG. TUB. EQUIV: longitud de tubería equivalente (m)

REDUC DIAM 185 (mm): Reducido de diámetro 185 (mm) – Accesorio de tubería

CRUZ 90 DIAM 185 (mm): Cruz de diámetro 185 (mm) – Accesorio de tubería

REDUC DIAM 180 (mm): Reducido de diámetro 180 (mm)

T DIAM 148 (mm): T de diámetro 185 (mm) – Accesorio de tubería

V Cuña DIAM 231 (mm): Válvula de Cuña de diámetro 231 (mm)

V CHECK DIAM 185 (mm): Válvula cheque de diámetro 185 (mm)

Resumen

La agroindustria de la caña de azúcar ha sido objeto de disímiles estudios, por la gran extensión de tierras que necesita para su desarrollo y por el procesamiento del cultivo que genera altos volúmenes de residuales. En este trabajo se realizaron los cálculos de la red de tuberías y los balances de presiones para las estaciones de bombeo de residuales. Se calculó las pérdidas de carga por la fórmula de Hazen-Williams y en los accesorios mediante tubería equivalente. Este sistema de bombeo permite la utilización de los residuales como alternativa a la fertilización y contribuye a disminuir costos en esta actividad fundamental. En la actualidad, la UEB “Jesús Rabí” alcanza rendimientos mayores a 70 t/ha, gracias a los avances en las tecnologías, que han permitido incrementar la producción por unidad de área. Pero también requiere una reposición de nutrientes por las extracciones por cosecha. El desarrollo conceptual fue dentro de marco de bienes y servicios ecosistémicos, que promueve las investigaciones sobre las relaciones entre la sociedad y los ecosistemas con un enfoque holístico y de esta manera contribuir a las relaciones equilibradas que mantengan los sistemas productivos de forma sustentable a mediano y largo plazo.

Summary

The sugarcane's agroindustry has been object of dissimilar studies, because it needs great extension of lands for its development and for the high residual's volumes generates at prosecution of crop. In this work it was carried out the calculations of the pipes' net and the balances of pressures for the pumping's stations residual. It was calculated the load's losses by the equation of Hazen-Williams and the accessories by means of equivalent pipe. This pumping's system allows the use of residual like as alternative to the fertilization and it contributes to down costs in this fundamental activity. At the present time, the UEB "Jesús Rabi" has bigger yields to 70 t/ha, thanks to the technologies' advances to allowed to increase the production for area unit. But it also need a nutriment' restore for the extractions crop. The conceptual development was inside mark of goods and ecosystem services it forward the investigations on the interaction between the society and the ecosystems with a holistic focus and this way to contribute to the balanced relationships for maintain the productive systems in a sustainable way at medium and long term.

OPINIÓN DEL TUTOR

El trabajo titulado “Evaluación técnico-económica y ambiental de la aplicación de residuales para la sustentabilidad del agroecosistema cañero en la UEB “Jesús Rabí” desarrollado por el estudiante Yavay Sánchez Estenoz, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Químico, cumple íntegramente con los objetivos y tareas propuestas.

El tema abordado es actual, pues se trata la reutilización de residuales como alternativa a la fertilización en caña de azúcar, para disminuir los volúmenes de fertilizantes; los cuales están entre los principales gastos en que se incurre en este cultivo. Además favorece la toma de decisiones sobre el funcionamiento del sistema de bombeo que se estudia y contribuye a disminuir el impacto ambiental. De ahí que, este tema sea de gran importancia en nuestro país. Conjuntamente se aborda la temática de bienes y servicios ecosistémicos, enfoque ambiental con auge a nivel mundial que busca equilibrar la protección de los ecosistemas y el bienestar humano.

En la Búsqueda Bibliográfica se recogen los criterios de diferentes investigadores en la temática de los servicios ecosistémicos a nivel mundial, también se consultó los materiales de la evaluación de los ecosistemas del milenio. Para el asentamiento bibliográfico se utilizó el software profesional BiblioScape 8.0.

Para el desarrollo de esta investigación se han cumplido con todas las normas.

El diplomante, Yavay Sánchez Estenoz, ha demostrado conocimientos suficientes para el desarrollo de esta investigación, un alto grado de compromiso y creatividad. Es notorio mencionar su esfuerzo y horas de sacrificio para llegar al resultado que hoy se presenta. En todo momento, trabajó con seriedad y rigor científico. Basado en lo expuesto, se considera que el trabajo presentado puede ser aceptado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico. Para que así conste se firma la presente a los 22 días del mes de junio de 2015.

Ing. Yasmany García López
Tutor

Introducción

Debido al constante crecimiento de la población, la demanda de los recursos naturales es cada vez mayor. La actividad productiva es uno de los pilares fundamentales del desarrollo económico. La industria es una gran fuente de contaminación ambiental a nivel mundial. La actuación negativa sobre el medio ambiente que ha caracterizado a los sistemas productivos, se evidencia en la sobreexplotación de los recursos sin considerar los límites del crecimiento, emisión de residuos no degradables al ambiente, destrucción de espacios naturales, los cuales han provocado que se acentúen cambios climáticos que afectan la vida del planeta. (Zaror, 2000). Acorde con Dierckxsens (2013), la reproducción de la vida humana necesita de la reproducción de la vida natural.

Las expresiones apreciables de toda esta problemática, son las lluvias ácidas, el efecto invernadero y el adelgazamiento de la capa de ozono, también han provocado problemas ambientales globales como: la pérdida de la diversidad biológica, contaminación de los suelos (salinización, erosión, compactación, acidez, alcalinidad, mal drenaje, desertificación y deforestación). La contaminación de aguas superficiales y subterráneas (eutrofización y salinización del acuíferos), agotamiento de los recursos naturales, sequía, pérdida de los humedales, superpoblación (urbanización, agricultura), consumo de recursos naturales y sustancias tóxicas, generación de residuos que producen contaminación y desechos peligrosos. (Isaac, 2012)

En Cuba cada día ocupa un mayor espacio la necesidad de una mayor cultura ambiental. En este sentido, la actividad del ser humano plantea varios retos y es necesario buscar soluciones sin limitar el progreso económico. El desarrollo sostenible permite el crecimiento y el uso de los recursos naturales a nivel mundial, pero tiene muy en cuenta los aspectos medioambientales y sociales globales, para que en el largo plazo no se comprometa ni se degrade la vida en el planeta, ni la calidad de esta. (de la Rúa, 2009)

Los estudios recientes como la evaluación de los ecosistemas del milenio han mostrado que los servicios del ecosistema no sólo son limitados, sino también se ven amenazados por las actividades humanas. Una de las estrategias que se está

empleando para facilitar el cuidado es la asignación de valores económicos a muchos servicios del ecosistema, valores a menudo basados en el costo de reemplazo por alternativas antrópicas.

En la actualidad existe una creciente tendencia al estudio de las relaciones entre los ecosistemas y las producciones humanas a partir de los servicios ecosistémicos. Es decir, se busca satisfacer las necesidades de la sociedad sin sobrepasar los límites del crecimiento de los ecosistemas. Una manera de lograr esto, es con el consumo sustentable de los recursos naturales, lo cual se favorece con la mayor reutilización de residuales que se generen y de este modo cerrar los ciclos.

La agroindustria de la caña de azúcar, principal cultivo de Cuba ha sido objeto de disímiles estudios, con vista a mejorar la eficiencia industrial y la calidad del azúcar, emplear las mieles, fabricación de medicamentos, obtención de alimento animal, mejoramiento fisiológico de la planta y utilización de los residuos que se generan durante el ciclo de vida de este cultivo. La coincidencia de la presencia de sacarosa y fibra lignocelulósica; los altos rendimientos agrícolas por hectárea, su alta capacidad de conversión fotosintética y el carácter renovable, colocan a la caña de azúcar en un lugar privilegiado dentro de la biomasa, resultando de interés sobresaliente para el hombre. (Cruz *et al.*, 1996; de Armas, 1996)

Este cultivo, además de las grandes extensiones de tierras que necesita para su desarrollo, su procesamiento genera altos volúmenes de residuales. Junto al tratamiento de estos tienen que estar creados sistemas para la reutilización; en lo posible dentro del propio proceso agroindustrial para aumentar el valor agregado; pasando de tener valores negativos a positivos dentro del balance económico. El adecuado manejo de los residuales, conlleva a disminuir el impacto ambiental de la industria azucarera. Debido a todo lo anterior, el presente trabajo plantea como **problema científico:**

¿Cómo evaluar técnico-económica y ambientalmente, la aplicación de residuales para la sustentabilidad de la producción cañera en el agroecosistema de la UEB “Jesús Rabí”?

Hipótesis

Si se determinaran las condiciones para la explotación de la aplicación de residuales, se podría evaluar técnico-económica y ambientalmente este sistema, así como la reposición de nutrientes para la sustentabilidad del agroecosistema cañero.

Objetivo general

Evaluar técnico-económica y ambientalmente el sistema de aplicación de residuales para la sustentabilidad de la producción del agroecosistema cañero.

Objetivo Específicos

1. Caracterizar los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento y soporte en el agroecosistema cañero.
2. Determinar la demanda de agua y nutrientes por el cultivo de la caña de azúcar.
3. Determinar las condiciones para la explotación del sistema de aplicación de residuales y el costo de instalación.

Glosario de términos

Agroecosistema: ecosistema artificial o forzado constituido por explotaciones agrarias

Agroindustria cañera: es el conjunto de actividades, tecnologías e infraestructuras que comprende la producción, industrialización y comercialización de productos provenientes del agroecosistema.

Bienes y Servicios ecosistémicos: condiciones y procesos a partir de los cuales los ecosistemas satisfacen las necesidades humanas.

Cepa de caña: diferentes estadios por los que pasa el cultivo desde su siembra hasta su demolición.

Compactación: disminución de la porosidad del suelo

Desarrollo sostenible: es aquel que permite hacer frente a las necesidades del presente sin afectar el de futuras generaciones para satisfacer sus necesidades.

Ecosistema: unidad ecológica fundamental, que comprende el biotopo y la comunidad de seres vivos a la que este pertenece.

Fertilización: acción antrópica para la reposición de nutrientes extraídos por la cosecha y con la cual se contribuye a evitar la pérdida de fertilidad del suelo.

Hidrante: es una toma de agua diseñada para proporcionar un caudal necesario para el cultivo de la caña de azúcar.

Hidromorfía: se relaciona con la formación de suelos bajo la influencia del agua y con drenaje deficiente. Afecta la vida del suelo y la transformación de los minerales y compuestos químicos; provoca efectos en los componentes del sistema suelo – planta y por tanto mermas en la producción

Medio ambiente: entorno en el cual una organización opera, incluidos el aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones.

Rendimiento cañero: es el potencial alcanzado por el cultivo para un área en específica y se da en toneladas de caña por hectárea.

Sistema: conjunto de elementos interrelacionados, cuyo funcionamiento es mayor que la simple suma de sus partes.

Sustentabilidad: resultado del uso de los propios recursos con una explotación por debajo de los límites de renovación y mantenimiento de los sistemas productivos en el tiempo.

Variedad de caña de azúcar: concepto clásico o convencional utilizado comúnmente para referir o identificar tipo específico, tiene científicamente la siguiente acepción: Planta modificada a partir de alteraciones accidentales del ambiente

Vinaza: residuo vínico último que se obtiene de las heces en la elaboración del vino

Capítulo 1. Análisis Bibliográficos

Introducción

En este capítulo se recogen los criterios tanto a nivel nacional como internacional encontrados en la búsqueda bibliográfica sobre la problemática ambiental. Se enfatiza en el marco teórico que se deriva de la evaluación de los ecosistemas del milenio y como se vincula a las valoraciones de las actividades productivas humanas.

1.1 El origen de la problemática ambiental

La dominación humana de la biosfera ha modificado o destruido los ecosistemas, agotando su capacidad de proporcionar los servicios del ecosistema necesarios para la supervivencia de la sociedad. (Daily *et al.*, 1997; Kremen, 2005)

La sociedad, generalmente, ha asumido que la provisión y accesibilidad de los servicios aportados por la naturaleza es libre e inagotable, por lo que su contribución queda fuera de las programaciones de manejo y de la mayoría de las evaluaciones económicas tradicionales. Frecuentemente se asume su gratuidad. Sin embargo cuando la erosión de los recursos naturales lleva a tomar medidas de restauración, éstos tienen un alto costo y generalmente toman varios años o siglos recuperarlos, como por ejemplo la pérdida de los suelos productivos. (Rótolo y Francis, 2008)

Con el desarrollo de tecnologías para obtener mayor productividad, han aumentado las exigencias sobre los ecosistemas, volviéndose en la mayoría de los casos una relación asimétrica (Crojethovich, A. 2004), donde se extraen los recursos del medio a un ritmo mayor que su reposición y se devuelven desechos con una tasa de descomposición que se extiende en el tiempo. Entre los problemas ambientales asociados con el cultivo de la caña de azúcar están los efectos del mal manejo de suelos y la disminución de sus funciones, las descargas de partículas a la atmósfera por la industria y el incremento de la densidad vehicular. (Waswa1 and Netondo, 2014)

Históricamente, el desarrollo de una región se ha medido en términos de crecimiento económico, sin considerar los aspectos medioambientales o sociales, pues la prosperidad se basaba en el uso intensivo de los recursos naturales. Fue en los años 70 cuando los países desarrollados vieron la necesidad de considerarlos. (De la Rúa, 2009)

En la actualidad, cuando se habla de desarrollo y del futuro de la especie humana, hay que hacer referencia obligada, entre otros temas, al cambio climático y los peligros asociados a este, a los patrones imperantes de producción y consumo, así como al planeamiento y la gestión ambiental. (Terry y Rey, 2013)

En los años 90 se comenzó a incorporar los enfoques ambientales preventivos, no solo para reducir la contaminación en la fuente de origen sino también para mejorar la eficiencia de los procesos productivos y de servicios. La eficiencia relacionada con los impactos ambientales y su efecto sobre la disponibilidad de los recursos naturales está referida al uso de la menor cantidad posible de estos, aparejado a un menor impacto ambiental para producir un producto o servicio. (Tortosa *et al.*, 2013)

1.2 Las acciones pro-naturaleza

Como la influencia humana sobre el ambiente natural aumenta; el establecimiento de prioridades para la protección ambiental cobra mayor importancia y urgencia. (Daily, 2000)

Las transformaciones que marcan un hito en la historia de la humanidad se pueden explicar por los grandes cambios en la vida económica y productiva: la mecanización y mejoramiento de los productos agrícolas y en su momento las grandes transformaciones que trajo consigo la Revolución Industrial. (Moreno, 2007). Pero este proceso histórico estaba sobre la base del consumo ilimitado de recursos, lo que ha provocado grandes transformaciones en el ambiente. Los deterioros del medio ambiente han motivado movimientos internacionales pro-naturaleza y por consiguiente las organizaciones internacionales se han tenido que proyectar en función de medidas sobre el mantenimiento y conservación de los recursos naturales.

Se cita como uno de los primeros debates intergubernamentales y del cual se redactó un documento conocido como Informe *Brundtland*, también llamado *Nuestro Futuro Común* publicado en 1982, fue elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, creada por las Naciones Unidas y presidida por Gro Brundtland, primer ministro de Noruega. El Informe consolida una visión crítica del modelo de desarrollo adoptado por los países industrializados e imitado por las naciones en desarrollo, destacando la incompatibilidad entre los modelos de

producción y consumo vigentes en los primeros y el uso racional de los recursos naturales y la capacidad de soporte de los ecosistemas. El informe define el concepto de desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. En nuestros días es muy común escuchar en los diferentes medios de comunicación que se busca lograr un desarrollo sostenible. Es un adjetivo que se puede agregar a infinidad de proyectos, por citar algunos, viviendas sostenibles, desarrollo urbano sostenible, desarrollo rural sostenible, industria sostenible. En fin son tantos sus usos que de repente la constante repetición se vuelve retórica y a veces su contenido parece vago. (Moreno, 2007)

La mayoría de las decisiones relacionadas con aspectos ambientales han tenido componentes económicos y se basan en argumentos determinados por las fuerzas del mercado, pero el continuo deterioro ambiental ha puesto de manifiesto la necesidad de incorporar este factor en las estrategias de desarrollo, con nuevos marcos metodológicos y conceptuales (Gómez-Baggethun y De Groot, 2007; Jørgensen, 2010, Camacho y Ruiz, 2011).

1.2.1 Del desarrollo sostenible a los servicios ecosistémicos

Durante las últimas décadas, Desarrollo Sostenible ha sido, la palabra rey en los debates sobre política ambiental. Se ha convertido en el *mantra* de los políticos y los tomadores de decisiones, así como en uno de los centros de atención prioritarios de los medios de comunicación y del debate social. Este término, que apela por unas relaciones amigables entre humanos y naturaleza, y por la búsqueda de un equilibrio entre la conservación y el desarrollo, ha tenido tanto éxito no por su novedad, sino por su ambigüedad. Tal y como se definió y se usa normalmente, puede significar cualquier cosa, por eso no ha servido, como se esperaba, para articular modelos de gestión que sirvieran para parar la crisis ecológica, generada por el metabolismo de la economía mundial, y en la que el planeta. (Montes, 2007)

Ante esta problemática surge una nueva conceptualización y forma de abordar la relación entre sociedad y ecosistema. Los servicios ecosistémicos son una forma de

identificar y evaluar la contribución los ecosistemas en la satisfacción de las necesidades de la sociedad.

Según Montes, (2007), a partir de un análisis de la tendencia de las publicaciones registradas en el *ISI web of knowledge* usando las palabras claves “servicios de los ecosistemas” (*ecosystem services*) y “desarrollo sostenible” (*sustainable development*), así como sus términos relacionados. Se observó una tasa de aumento del número de artículos científicos que incluyen el estudio de servicios de los ecosistemas.

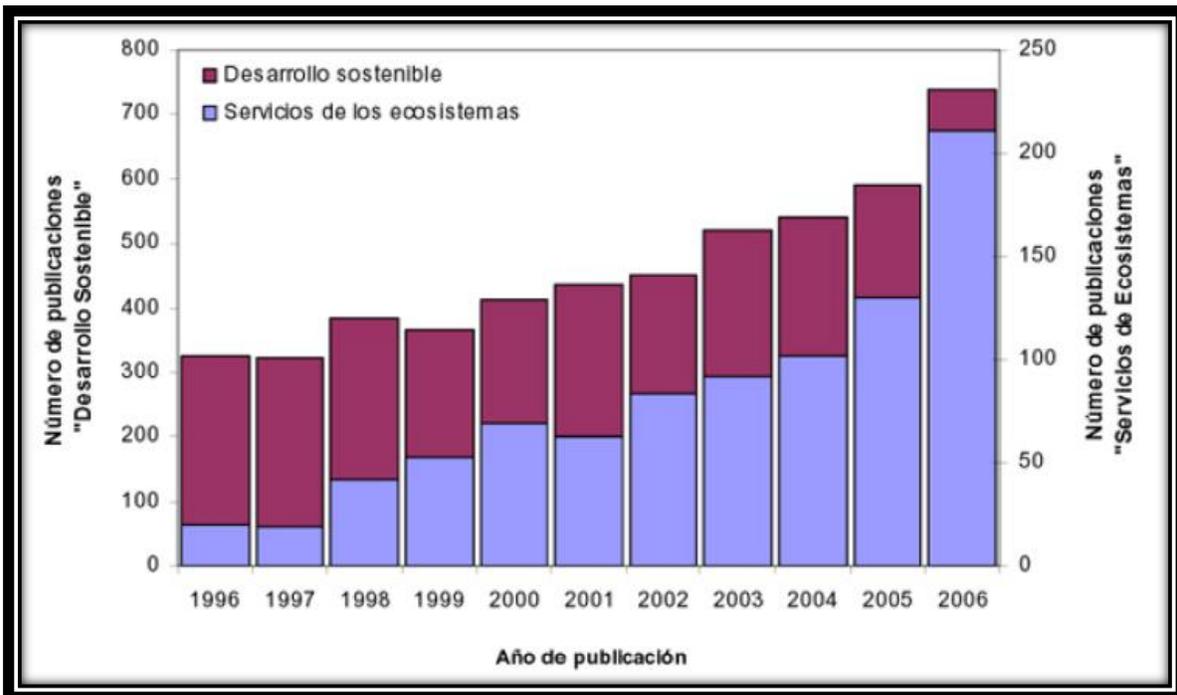


Figura 1. Publicaciones registrada en *ISI web of knowledge* sobre servicios ecosistémicos y desarrollo sostenible

Fuente: Montes, 2007

1.2.2 Los servicios ecosistémicos

Existen múltiples relaciones entre los procesos del ecosistemas y el bienestar humano (Ficher *et al.*, 2011). La humanidad tiene una historia larga de manejar servicios aprovisionamiento (comida, fibra, energía, agua, materiales crudos) como artículos que son comerciados en los mercados. (Viglizzo *et al.*, 2011)

El concepto de servicios ecosistémicos se ha convertido en un importante modelo para vincular la funcionalidad del ecosistema al bienestar humano. (Fisher *et al.*,

2007). Este concepto juega un papel importante en la sustentabilidad a largo plazo que los ecosistemas tienen en el bienestar humano. (Turner and Daily, 2008; Aisbett and Kragt, 2010)

En la bibliografía especializada existen amplias definiciones de los servicios ecosistémicos, pero todas concuerdan o expresan, que son las condiciones y procesos de los ecosistemas naturales, utilizados para producir bienestar humano de forma directa o indirectamente. (Daily, 1997; Costanza *et al.*, 1997, De Groot *et al.*, 2002; MA, 2003; Boyd y Banzhaf, 2006). Entonces, para poder tomar decisiones de manejo, y de asignación de tierras para los diferentes usos, se necesitan por un lado hacer visible la existencia y los aportes que realizan los servicios ecosistémicos, y por el otro contar con cuantificaciones y valoraciones sistémicas que integren el medio natural con el económico-social. (Rótolo y Francis, 2008)

La valoración de la naturaleza a través de su capacidad para producir bienes y servicios ecosistémicos es una estratagema hábil introducida por los ecólogos (Viglizzo *et al.*, 2010). Para su determinación se hace necesario adoptar enfoques sistémicos que integren la naturaleza y la sociedad. Los servicios ecosistémicos como condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman, mantienen la vida del hombre; permiten entender de qué manera los activos naturales afectan la vida en la tierra. (Daily, 1997; Rótolo y Francis, 2008)

Según Solow, (1997) y Stiglitz, (1997), citados por Ferraro, (2010) el enfoque económico de la valoración ambiental, a través de la eficiencia económica, es insuficiente para predecir características de los ecosistemas como pueden ser la estabilidad a largo plazo o la degradación física de bienes naturales. Ante esta problemática, el análisis de los servicios ecosistémicos, permite una Economía Ecológica que cuantifica y evidencia, como un activo ambiental perdido es un costo que sufre la sociedad y lejos de toda duda, sin servicios ecosistémicos no habrá producciones. (Viglizzo *et al.*, 2010)

El estudio de los servicios ecosistémicos, así como sus aplicaciones a la toma de decisiones, es un área creciente con amplias perspectivas para el futuro. Este concepto permite establecer un vínculo explícito entre los ecosistemas y el bienestar

humano, este acercamiento es de utilidad para modificar los patrones actuales de uso de los recursos hacia un desarrollo sustentable. (Balvanera y Cotler, 2007 b)

En síntesis, el concepto de servicios ecosistémicos o servicios ambientales permite hacer un vínculo explícito entre el estado y funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. Esta relación puede ser directa o indirecta, y los seres humanos pueden o no estar conscientes de su existencia. (Balvanera y Cotler, 2007 a)

1.2.3 Clasificación de los servicios ecosistémicos según la evaluación de los ecosistemas del milenio.

Los servicios ofrecidos por la naturaleza, en forma general, se agrupan según sus funciones de soporte, regulación, provisión y culturales (MA, 2005). Entender y valorar estos servicios prestados por los recursos naturales es un desafío que se debe enfrentar en regiones tradicionalmente agrícolas con un alto potencial genético productivo, y densamente pobladas, para poder preservarlos (Rótolo y Francis, 2008)

- Servicios de apoyo: Servicios del ecosistema que son necesarios para la producción de todo los demás servicios del ecosistema.
 - Dispersión y reciclaje de nutrientes
 - Dispersión de semillas
 - Producción primaria
- Servicios de aprovisionamiento: Productos obtenidos de los ecosistemas.
 - Alimentos, cultivos, alimentos silvestres y especias
 - Agua
 - Minerales
- Servicios de regulación: Los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos de los ecosistemas.
 - Captura y almacenamiento de carbono y regulación del clima
 - Descomposición de residuos y desintoxicación
 - Purificación de agua y del aire
 - Polinización de cultivos
 - Control de plagas y enfermedades

- Servicios culturales: Beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas.
 - Inspiración cultural, intelectual y espiritual
 - Experiencias de recreación
 - Descubrimiento científico

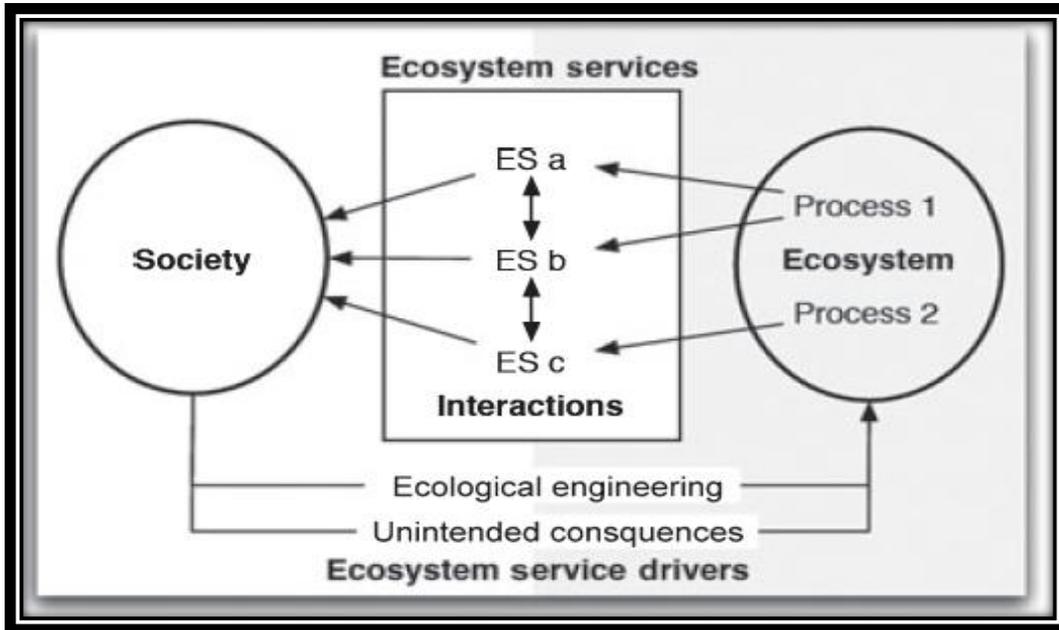


Figura 2. Servicios ecosistémicos son beneficios que la sociedad recibe de los ecosistemas

Fuente: Bennett *et al.*, 2009

La interpretación de las condiciones y funciones del ecosistema dentro de los servicios ecosistémicos requiere interdisciplinaridad y personal orientado a la investigación. (Daily *et al.*, 2009)

Este marco conceptual promueve que las investigaciones sobre las relaciones entre la sociedad y los ecosistemas, se deben realizar desde un enfoque sistémico y de esta manera contribuir a las relaciones equilibradas que mantengan que los sistemas productivos sean sostenible a mediano y largo plazo.

1.3 Enfoque sistémico

El sistema se define como el conjunto de elementos que se encuentran en relación y con nexos entre sí, y que forman una determinada unidad e integridad. Es un conjunto energético - substancial de componentes interrelacionados, agrupados de acuerdo a relaciones directas e inversas en una cierta unidad. Es un todo complejo, único, organizado, formado por el conjunto o combinación de objetos o partes. (Mateo, 2005)

El Enfoque Sistémico es uno de los enfoques generales interdisciplinarios, que constituye un medio metodológico para el estudio de los objetos integrados y de las dependencias e interacciones integrales. Se dirige a conocer los mecanismos de integración de los sistemas, o sea las formaciones integrales, que constituyen unidades integrales, todos, formados por elementos interrelacionados e interactuantes que no pocas veces son heterogéneos. Al mismo tiempo, se tiene en cuenta, que cada sistema constituye el elemento de un sistema más grande o jerárquicamente superior. (Cadenas Marín, 2005, citado por Mateo 2005)

Todo sistema está formado por elementos o estructuras que interactúan tanto entre sí, como con el sistema mayor al que pertenecen, a través del flujo y reflujo de materia, energía e información, cumpliendo determinadas funciones a través del tiempo. Las estructuras de un sistema que pertenecen a diferentes niveles de organización, se acoplan y evolucionan según la dinámica del contexto en el que se encuentran. (Rótolo y Francis, 2008)

Según Mateo, (2005) el enfoque sistémico ha desempeñado un significativo papel en el descubrimiento y la construcción del mundo multidimensional y de múltiples niveles de la realidad en un sistema de conocimientos científicos, siendo muy necesario y productivo en el estudio de los fenómenos complejos. Este enfoque implica un cambio absoluto de paradigma dirigido a desarrollar un pensamiento de propósito general, siendo una herramienta transdisciplinaria, que permite abordar prácticamente todas las disciplinas y problemas siempre que se acepten sus principios. Esta metodología de síntesis más que de análisis se basa en los puentes de conexión entre diversas disciplinas, y supone la formación de expertos generalistas, que son especialistas en la globalidad, en el enfoque multi-céntrico y

holístico. La utilización del enfoque sistémico como un conjunto de métodos lógicos, regulados del conocimiento de la realidad, tiene un conjunto de “ventajas” de carácter científico, tales como:

- Poseer un aparato conceptual, diverso, que se refleja bajo la forma de categorías y propiedades formuladas con relativa exactitud.
- Permitir la distinción objetiva del objeto estudiado del medio circundante, dividiéndolo en una serie de niveles de complejidad, y distinguir estos niveles en términos de la concepción sistémica.
- Facilitar la creación de un modelo de partida para estudiar el objeto, sobre cuya base se puede elaborar el programa de su estudio, bajo la forma de operaciones científicas.
- Constituir la base para la construcción de isomorfismos conceptuales y terminológicos, que sirvan para la comunicación inter y transdisciplinaria

1.4 Servicio de reciclaje de nutrientes

Los elementos químicos incluidos los esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio) para el cultivo de la caña de azúcar circulan por la biosfera por vías características del ambiente, a los organismos y viceversa. Este movimiento de elementos y compuestos inorgánicos indispensables para la vida se designan como ciclos nutritivos y mantienen la fertilidad del suelo (Zhanga *et al.*, 2007). Cada uno de estos ciclos está compuesto por diferentes fases. Dentro del marco conceptual de la evaluación de los ecosistemas del milenio es parte de los servicios de apoyo; soporte de la existencia de otros servicios del ecosistema.

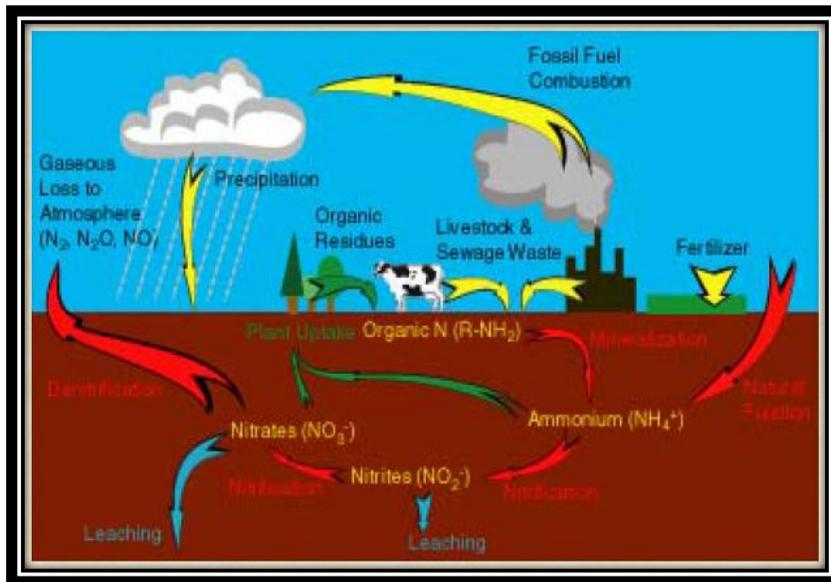


Figura 3. Ciclo del nitrógeno

Las transformaciones a que está sometido el nitrógeno de la atmósfera hacia el suelo, plantas, animales y el hombre y el retorno a la atmósfera es lo que se conoce como ciclo del nitrógeno. Las ganancias o entradas de nitrógeno en el agroecosistema cañero están representadas por los aportes que realizan los residuos de cosecha y su posterior transformación en el suelo, la fijación biológica del nitrógeno atmosférico y la fertilización. (Cuéllar *et al.*, 2002)

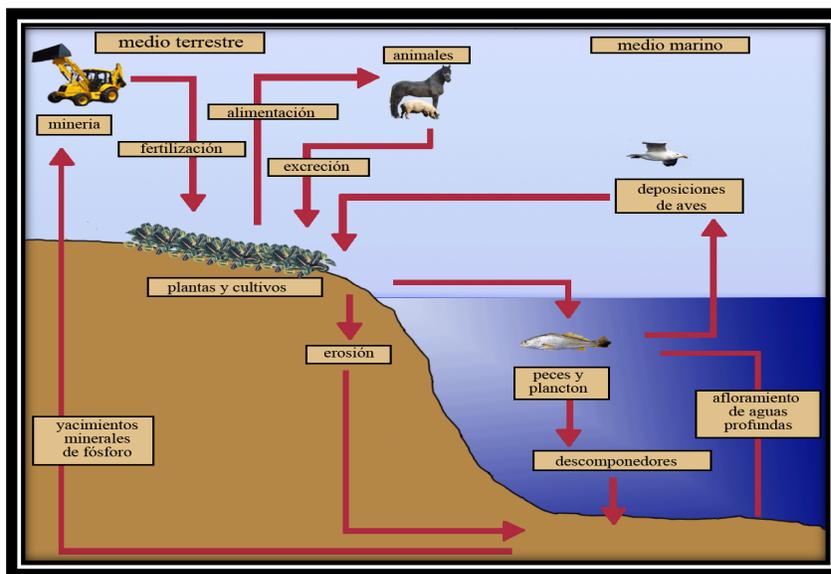


Figura 4. Ciclo del Fósforo

El fósforo liberado por la degradación lenta de los depósitos de fosfato en las rocas, es disuelto en el agua del suelo y tomado por las raíces vegetales. La mayoría de los suelos contienen sólo cantidades pequeñas de fósforo porque los fosfatos son ligeramente solubles en agua y se encuentran en pocas clases de rocas.

El fósforo es un componente esencial de los organismos. En los suelos tropicales que son frecuentemente ácidos, pueden contener cantidades notables de aluminio y de hierro, retienen gran cantidad de fósforo. Además al fósforo reaccionar con el aluminio y hierro, da lugar a compuestos insolubles. La fijación está determinada por la mineralogía y cantidad de las arcillas, la cantidad de coloides amorfos, el calcio, aluminio y hierro intercambiable y la materia orgánica. Un fenómeno importante que se da entre fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo, es la solubilización de los fosfatos nativos o precipitados por acción de los ácidos que liberan los microorganismos. Las principales pérdidas de fósforo son por exportación por las cosechas y la erosión. (Cuéllar *et al.*, 2002)

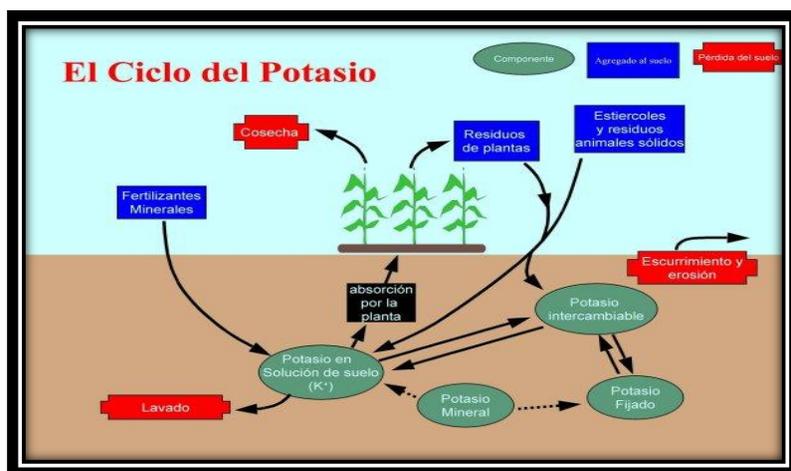


Figura 5. Ciclo del Potasio

El equilibrio entre las ganancias y las pérdidas de potasio en el sistema suelo-caña de azúcar es un factor importante a tener en cuenta para restituir, mantener o aprovechar la fertilidad potásica de los suelos. Las pérdidas de potasio se producen en el agroecosistema cañero, al igual que el resto de los nutrientes antes mencionados, son fundamentalmente por la extracción que realiza el cultivo, el lavado y la erosión. (Cuéllar *et al.*, 2002)

1.5 Ecosistemas & agroecosistema

En un sistema natural, el ingreso de energía está basado por completo sobre la radiación solar. Los componente del sistema encargados de fijar está energía son las plantas en su proceso de fotosíntesis. Este ingreso de energía circula a través de una serie de transformaciones jerárquicas que incluyen a los demás componentes de la red trófica, comenzando por los consumidores hasta los descomponedores (organismos que transforman la materia orgánica en formas que puedan ser reutilizadas por las plantas). De esta manera, es posible cerrar el ciclo de circulación de energía (producción-consumo-reciclado-nueva producción) y disponer fuera de la zona donde se desarrollan los ciclos de vida de los organismos a la materia que ya no pueda ser reutilizada y que actuará impidiendo el normal funcionamiento de los ciclos vivos. En los ecosistemas manejados, la función de producción ya no depende sólo de la energía solar, sino, que está basado sobre un flujo lineal, en un solo sentido, desde los recursos fósiles de la litosfera hacia el consumo y la generación de desechos (excedente). A diferencia de los sistemas naturales, la tasa de aumento de la materia no reciclable (desperdicios en los sistemas manejados) se amplifica tanto por la ausencia relativa del componente de descomponedores, como por el exceso de tamaño del componente de consumo (Figura 2). (Ferraro, 2010)

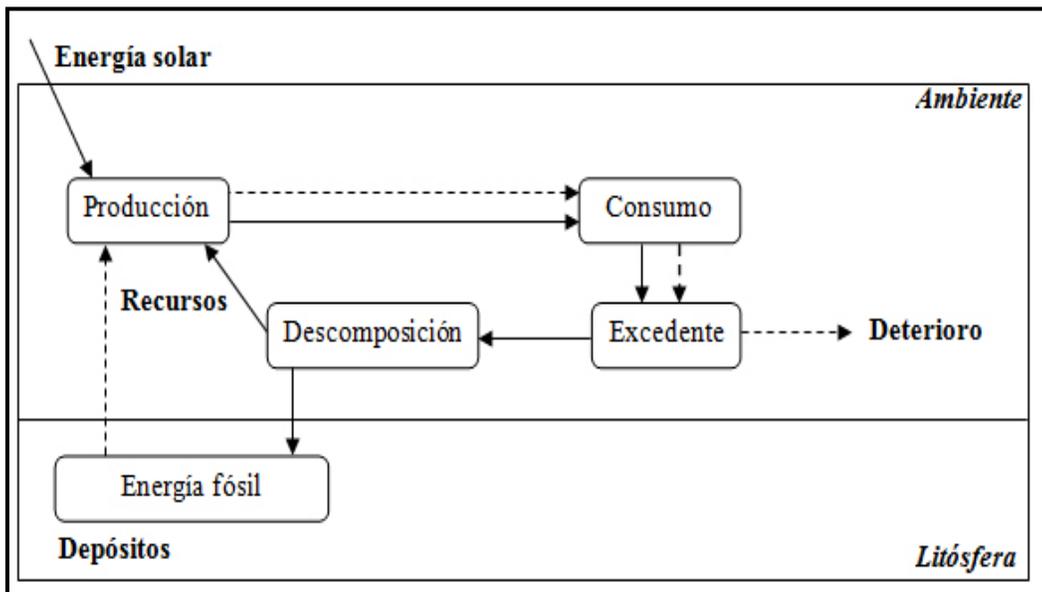


Figura 6. Ecosistemas naturales y Manejados por el hombre
Fuente: Ferraro, 2010

1.6 El uso de fertilizantes inorgánicos

El uso de fertilizantes y enmiendas en el proceso de producción agrícola representa cada vez más un costo importante en este subsector de la economía, dado los continuos aumentos de precios que ha venido sufriendo este insumo. Esta situación es provocada por la alta extracción de nutrientes por una parte y, por la baja incorporación de los mismos por la otra: algunos estudios indican que una cosecha de 100 ton/ha extrae en términos medios 133, 83 y 248 kilogramos de nitrógeno, fósforo y potasio (Fig.7); de aquí la importancia de restituir las exportaciones para mantener la capacidad productiva, además del uso de fuentes alternativas. (Fernández *et al.*, 2010)

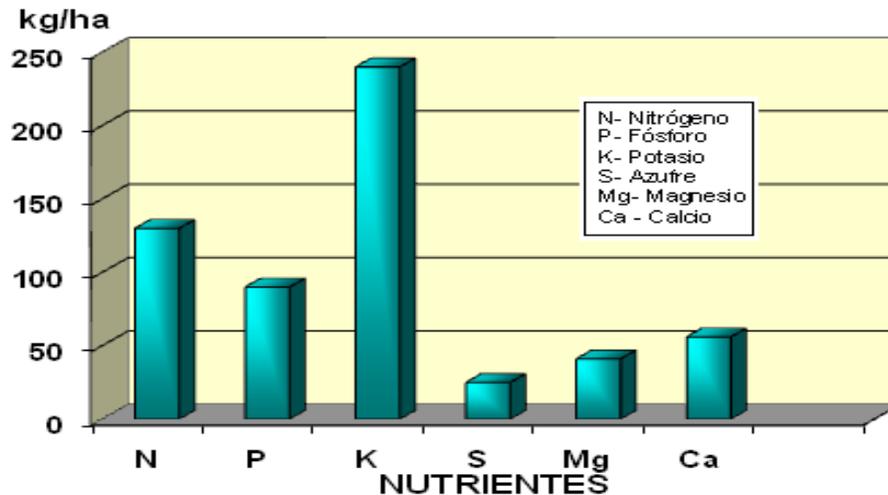


Figura 7. Extracciones de diferentes nutrientes por el cultivo de la caña de azúcar

1.7 Servicio de aprovisionamiento (Agua)

Unos de los servicios ecosistémicos más utilizados por los sistemas productivos es el de aprovisionamiento de agua en cantidad.



Figura 8. Servicio de provisión de agua en cantidad

1.8 El uso de agua

El agua es un elemento común en todas las actividades de la vida diaria, puede constituir un factor limitante en el desenvolvimiento económico en el ordenamiento nacional y territorial, así como puede ser fuente de transmisión de enfermedades al hombre y a los animales. El agua según el uso se clasifica en tres grandes grupos: aguas de población, aguas industriales, aguas de regadíos. Las aguas de población son destinadas a los servicios comunes de las localidades, tales como: uso residencial, hoteles, hospitales, comercios, etc. y en general son desinfectadas y clarificadas. Las aguas destinadas a los procesos industriales reciben diferentes tratamientos, en dependencia a su uso. Las aguas de regadíos generalmente no llevan tratamientos. Las aguas de servicios e industriales después de ser usadas se convierten aguas residuales, las cuales llevan su tratamiento para que entren nuevamente en el ciclo del agua o ser reutilizadas en cualquiera de los usos mencionados.

Uso del Agua

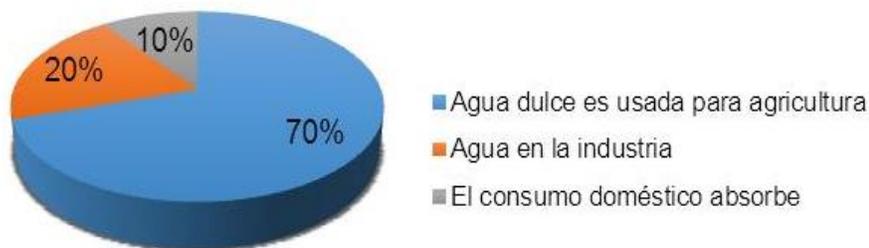


Figura: 9 Uso del agua

1.8.1 Aguas industriales.

El agua es una sustancia que la industria usa en tan vastas cantidades, que tanto en sus cantidades netas como en tonelajes, sobrepasa por mucho a todos los otros materiales. Como se ha explicado las pequeñas industrias toman generalmente agua de los acueductos municipales y los mayores consumidores desarrollan sus propias fuentes de suministro. En muchos casos, la industria compra a la municipalidad agua para beber, para uso sanitario y agua contra incendio. Los requerimientos de agua en los procesos industriales son muy diferentes.

1.8.2 Sistemas de riego

La mayor parte del agua extraída se destina a la agricultura de regadío que contribuye a la producción de alimentos. Dada la antigüedad de la mayoría de sus redes de distribución y lo inadecuado de los métodos de riego existen grandes diferencias entre agua extraída y la realmente consumida, por lo que la agricultura de regadío es la consumidora y despilfarradora más importante del agua dulce.



Figura 10. Sistemas para el riego

Si bien es cierto que el regadío ha contribuido significativamente a satisfacer la demanda de alimentos ha generado graves impactos ambientales, como la simplificación del paisaje y la pérdida de biodiversidad. También ha sido la fuente de graves problemas de contaminación por fertilizantes, pesticidas y otros productos tóxicos. Pero sobre todo ha sido la causa de la construcción de grandes infraestructuras: embalses, canales, trasvases que han ocupado importantes alteraciones en la estructura y funcionamiento de múltiples tipos de ecosistemas.

Una cuestión indudable a analizar es, si habrá suficiente agua para satisfacer las mayores necesidades del sector agrícola y de los demás sectores. Globalmente la agricultura ya consume el 70 por ciento de las extracciones de agua y se considera que es la principal responsable de la creciente escasez global de agua.

Los Problemas asociados con el recurso agua son una de las más serias amenazas a la humanidad. Si en algunos lugares se puede obtener gran cantidad de agua limpia y fresca, en otros resulta escaso, tanto por su inexistencia como por el grado de contaminación que existe en sus fuentes. (Tortosa *et al.*, 2013)

1.9 Aguas residuales como alternativa para disminuir el consumo de agua potable y los gastos en fertilización

La reutilización de efluentes es una práctica poca extendida en el territorio cubano, no obstante, reporta beneficios cuando se realiza de forma controlada. Hay algunas aplicaciones aisladas en Cuba, como por ejemplo en el fertirriego de la industria azucarera, en lavanderías con el uso de efluentes y en instalaciones hoteleras para el riego de las áreas verdes con efluentes tratados.

1.9.1 Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales son esencialmente aquellas que cuya calidad se ha deteriorado por diferentes usos se pueden definir como la combinación de aguas y residuos, procedentes de las viviendas como instituciones públicas, establecimientos industriales y agropecuarios, a lo que pueden agregarse, de manera eventual, determinados volúmenes de aguas subterráneas superficiales y pluviales.

Cualquiera que sea su procedencia, las aguas residuales plantean una amenaza para el medio ambiente, ya que modifican las características iniciales del medio natural donde se produce su descarga. La importancia de esta amenaza depende de sus propiedades, es decir, su composición y cantidad. Por tanto, antes de escoger un método de tratamiento, el primer paso consiste en averiguar lo más exactamente posible todas las características del agua residual a tratar. Entre los que se encuentran la clasificación de los contaminantes en: químicos, físicos, biológicos y su fuente de contaminación:

De acuerdo con la fuente generadora se clasifican como:

- Domésticas: predominio de residual generado en asentamientos poblacionales, escuelas, edificios públicos, instalaciones turísticas, centros comerciales e instalaciones sanitarias de las industrias.
- Municipales: son aquellas aguas residuales que además de las domésticas incluyen las generadas en comercio, centros hospitalarios y algunas industrias de la comunidad.
- Industriales: predominan los residuales líquidos resultantes de la actividad manufacturera, la industria extractiva y el procesamiento de los productos de la actividad agropecuaria. Los residuales de la industria van a depender de la materia que procesan y del producto final que en ellas se producen, al igual que la tecnología utilizada.
- Agropecuaria: predominan residuales líquidos generados en las instalaciones agropecuarias, (centros porcinos, vaquerías, cebaderos de toros, centros avícolas, entre otros). Los residuales de la acuicultura también se incluyen en esta categoría, teniendo en cuenta su composición.

Las aguas residuales pueden clasificarse también como biodegradables, son aquellas cuyo contenido puede ser degradado por vía biológica. Las no biodegradables son aquellas que no se degradan biológicamente, aunque, en la realidad es difícil encontrar aguas del todo biodegradables o no biodegradables.

1.9.2 Tratamiento de las aguas residuales

Las aguas residuales tienen que ser tratadas antes de su vertimiento a un cuerpo receptor con el objetivo de:

- 1 Reducir la posibilidad de transmisión de enfermedades por la vía hídrica;
- 2 Prevenir la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, y por extensión, al medio.

Los especialistas en esta disciplina tienen que enfrentarse al problema de tratamiento de los residuales y resolver de forma eficiente la conversión de los residuales en un producto tangible para la producción de energía, la cría de peces, la producción de proteína vegetal, la producción de alimentos para el ganado o el riego (reutilización de residuales).

En las condiciones climáticas de nuestro país, pueden adoptarse diferentes soluciones, aunque como línea deben utilizarse siempre que sean posibles los métodos biológicos. No se puede utilizar una receta única para el tratamiento de los residuales. La adopción de diferentes métodos y tecnologías de tratamiento dependerá de distintos factores, entre ellos:

- 3 Localización del vertimiento. Condiciones y facilidades, incluyendo las posibilidades para la construcción
- 4 Cuerpo receptor afectado.
- 5 Volumen diario de los residuales
- 6 Carga contaminante generada por cada parámetro considerado como imprescindible
- 7 Posibilidades reales de aumentar la eficiencia del tratamiento o su grado, estimando las reducciones en la carga que se producirían con la posible reutilización de las aguas residuales.

En Cuba se lucha por ocasionar menor contaminación en los ecosistemas, acorde a los convenios internacionales pero aún los esfuerzos son insuficientes y se debe seguir trabajando en alternativas para la reutilización de residuales eficiencia en el consumo de recursos y educación ambiental. El uso de agua potable en el riego, es una práctica común en las producciones de caña de azúcar y cada vez más, se

incrementan las áreas con estas características. Una manera de disminuir estas altas demandas en que se incurren es la reutilización en el proceso de residuales de la industria que a su vez disminuyen las dosis de fertilizantes a aplicar.

1.9.3 Aguas residuales de la fabricación de azúcar

Estas aguas tienen una densidad entre 5 y 15 °Brix, los constituyentes inorgánicos forman del 20 al 40 % de los sólidos totales: sulfatos de fósforo, potasio y calcio y cantidades menores de hierro, magnesio y sodio. En cuanto a los constituyentes orgánicos están formados por proteínas y otras sustancias nitrogenadas, gomas, caramelo y otros productos de la descomposición del azúcar, ácidos orgánicos, una cantidad apreciable de glicerol y azúcares no fermentables. (Basanta *et al.*, 2007)

Mostos o vinazas de residuos alcohólicos: productos viscosos con densidad aproximada de 4 a 10 °Brix, que a temperaturas y concentraciones altas son muy corrosivos. Los constituyentes inorgánicos son sulfatos, cloruros, fosfatos, potasio, sodio y silicato. Los constituyentes orgánicos son las proteínas y otras sustancias, ácidos orgánicos, alcohol, glicerol y azúcares. (Basanta *et al.*, 2007)

1.9.4 Características generales de los residuales industriales

Este residual de vinaza se caracteriza por la concentración de sólidos totales que contenga: vinaza diluida 8 a 10% de sólidos totales, vinaza semiconcentrada del 20% a 30% de sólidos totales, vinaza concentrada del 55% a 60% de sólidos totales y vinaza sólida 99% a 99.9 % de sólidos totales. Su composición o concentración de elementos de la vinaza dependen de su origen de la materia prima con que se destila alcohol.

Las propiedades químicas y la densidad varían de acuerdo con el material usado para obtener el mosto; cuando se elabora a partir de la melaza, se generan vinazas de mayores contenidos de materia orgánica y de elementos mayores y menores que cuando procede del jugo de caña. Presenta un pH bajo y varía entre 3.5 y 4.5.

Las características del residual a tratar determinan el tipo y la complejidad del sistema de tratamiento a utilizar, las operaciones y procesos unitarios seleccionados deben ser capaces de eliminar los contaminantes de interés contenidos en el residual crudo y garantizar la calidad necesaria de los efluentes de acuerdo con cada

situación específica, con lo menores requerimientos posibles de operación, mantenimiento y consumo energético. Los estudios de trazabilidad (figura 4) cobran importancia ante la posible presencia de contaminantes de difícil degradación por métodos biológicos, como pueden ser aquellos procedentes de industrias, y cuyas concentraciones alcanzan niveles importantes. (Terry *et al.*, 2010)

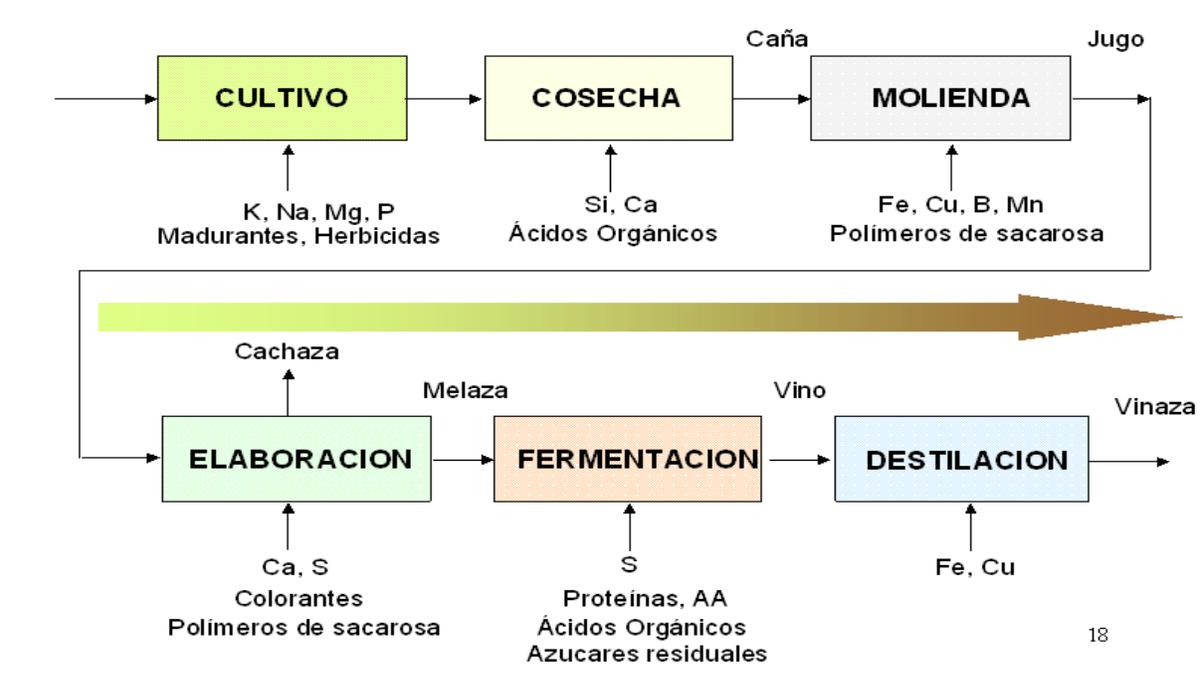


Figura 11. Origen de la Composición de la Vinaza
Fuente: Gnecco, 2007; citado por Giron, M, (2008)

La vinaza es un subproducto líquido de color marrón oscuro obtenido de la destilación del alcohol para diferentes usos como carburante, bebidas alcohólicas y farmacéuticas. Es de un olor fuerte y bastante oxidante. Las fuentes de materia prima con que se pueden producir vinaza puede ser la caña de azúcar, el maíz, la remolacha, la cebada, entre otros.

La producción de alcohol genera un subproducto como la vinaza en una proporción promedio entre 12 y 13 litros de vinaza del 10%, por cada 1 litro de alcohol producido. Esta, es producida en diferentes concentraciones que varían entre un 10% y 55%. Debido a su gran contenido de materia orgánica y elevada flora microbiológica, la vinaza presenta elevado índice de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), siendo considerado un material contaminante cuando es descartado en fuentes de agua. Sin embargo, cuando aplicada al suelo, disminuye su potencial

contaminante, debido al poder “buffer” del suelo. Las vinazas poseen un DBO entre 7.000 a 30.000 mg/litro. Cuando la vinaza se descarga directamente a las fuentes de agua con un caudal insuficiente para provocar una dilución compatible con sus características, genera efectos desastrosos en la flora y fauna existentes. Su elevada DBO provoca rápido agotamiento del oxígeno en el medio líquido. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es mayor a 15.000 mg/litro en vinazas del 10% aumentado de acuerdo a su grado de concentración. Los estudios realizados a la vinaza de caña de azúcar han mostrado que es un residuo altamente corrosivo y contaminante de las aguas, que presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica, potasio y calcio, así como cantidades moderadas de nitrógeno y fósforo. Sin embargo, la composición química de la vinaza depende de la materia prima que se utilice, de las condiciones climáticas, del suelo y del proceso de elaboración del alcohol. Además, tiene otras características benéficas como sus alto contenido de potasio y otros elementos químicos que pueden ser utilizados como fuentes de nutrientes en el cultivo de la caña de azúcar y reemplazar los fertilizantes químicos además, es una enmienda en la recuperación de suelos salino y/o sódicos. En la vinaza está compuesta además por elementos pesados como el Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn) y Zinc (Zn). Las dosis de aplicación son variables y se preparan de acuerdo a las necesidades de cada tipo de suelo, variedad de caña y a la concentración de la vinaza con que se disponga.

1.10 Estrategias de manejo para la aplicación de residuales

La productividad bruta de los sistemas agrícolas no supera la que puede encontrarse en la naturaleza en ambientes equivalentes. Por supuesto, el hombre aumenta en algunos casos la productividad primaria bruta proporcionando agua y nutrientes allí donde estos son limitantes. (Soriano *et al.* 2001)

Según el grado de intervención de la sociedad, el manejo y las decisiones tomadas sobre los agros ecosistemas influirán significativamente en el futuro bienestar de la región y la forma de producir que deberán enfrentar futuras generaciones. Pues hoy en día es muy raro encontrar un ecosistema prístino, ya que casi todos están, en forma directa o indirecta, afectados por la acción antrópica. (Rótolo y Francis, 2008)

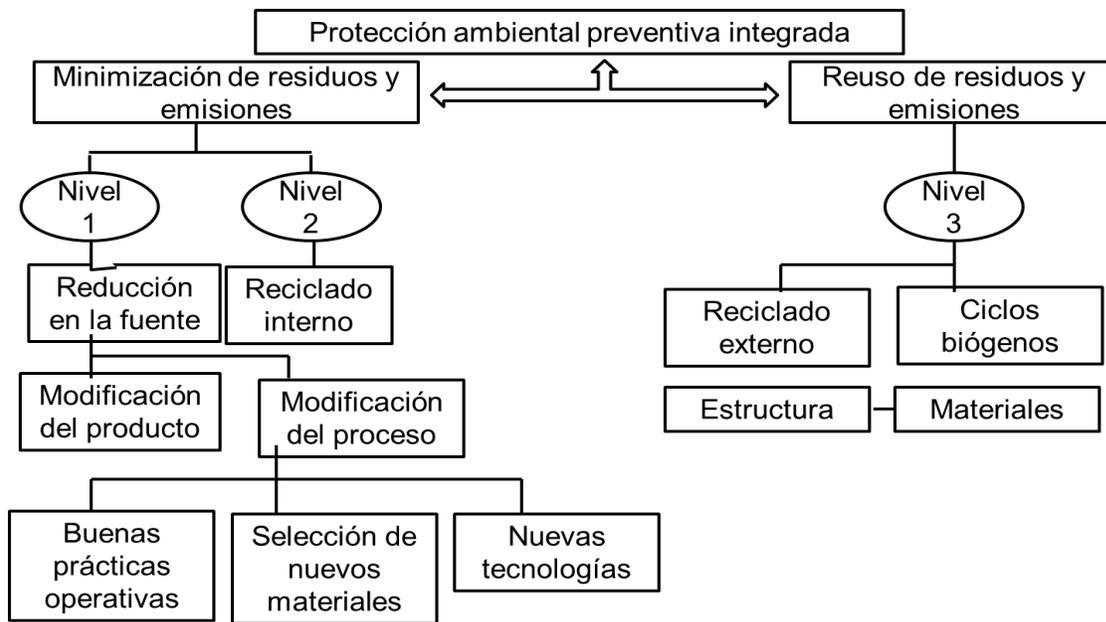


Figura 12. Alternativa para la protección ambiental preventiva integrada

Fuente: Manual de producción más limpia de la ONUDI citado por Tortosa *et al.* 2012

Según Tortosa *et al.*, (2012) se debe tratar de aplicar los niveles 1 y 2 y solo cuando esto no es posible pasar al nivel tres, o sea el reciclaje externo al sistema. Lo que no puede ser obviado el uso de estos residuos; pues en este sentido, los residuos deben ser considerados productos con valor económico negativo, por tanto su recuperación o transformación en nuevos productos trae beneficios económicos y ambientales para la empresa y el país. En función de estos y la problemática que se desea solucionar, se pueden combinar acciones de los tres niveles para lograr resultados esperados.

Se deben promover el uso de equipos que permitan transportar o bombear los residuales generados en la industria, a lugares en los cuales se va a emplear, a partir de la factibilidad económica, de acuerdo a los resultados productivos que se van a obtener y los resultados ecológicos.

Las aplicaciones de residuales están dadas de acuerdo a su concentración el tipo de suelo y las características del mismo, sus usos y cultivos. Una mayor utilización de los residuales que contribuyan una disminución de agua potable debe estar

incentivada también a través de mecanismos de pagos para el mantenimiento de este servicio de aprovisionamiento en cantidad y calidad.

Conclusiones parciales

El marco conceptual de la evaluación de los ecosistemas del milenio sienta las bases los estudios entre la relación de los servicios de ecosistemas y el bienestar humano. En la definición de los servicios ecosistémicos se recogen todos los bienes que se reciben de los ecosistemas.

Lo que se busca es una efectiva gestión ambiental, cuyo objetivo es lograr sustentabilidad en el desarrollo, proteger y conservar los recursos y la calidad ambiental, evitar su degradación y mejorar la calidad de vida. Al integrarse con los objetivos económicos, se persigue el uso eficiente de los recursos, la disminución de costos, incrementar la rentabilidad y la competitividad; así como la identificación de oportunidades económicas, técnicas y organizativas. (Serrano y Quintana, 2012) y de esta manera garantizar el cuidado y mantenimiento de los bienes y servicios ecosistémicos que se generan en la región y satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin afectar las futuras, además de promover el intercambio equitativo con otras regiones.

Capítulo 2. Materiales y Métodos

Introducción

En este capítulo se exponen los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de la tesis, describiéndose las características del agroecosistema y las formas de reposición de nutrientes.

En la figura 2.1 se expone el esquema metodológico para analizar la reposición en el agroecosistema cañero de la UEB “Jesús Rabí”; considerando los bienes y servicios ecosistémicos

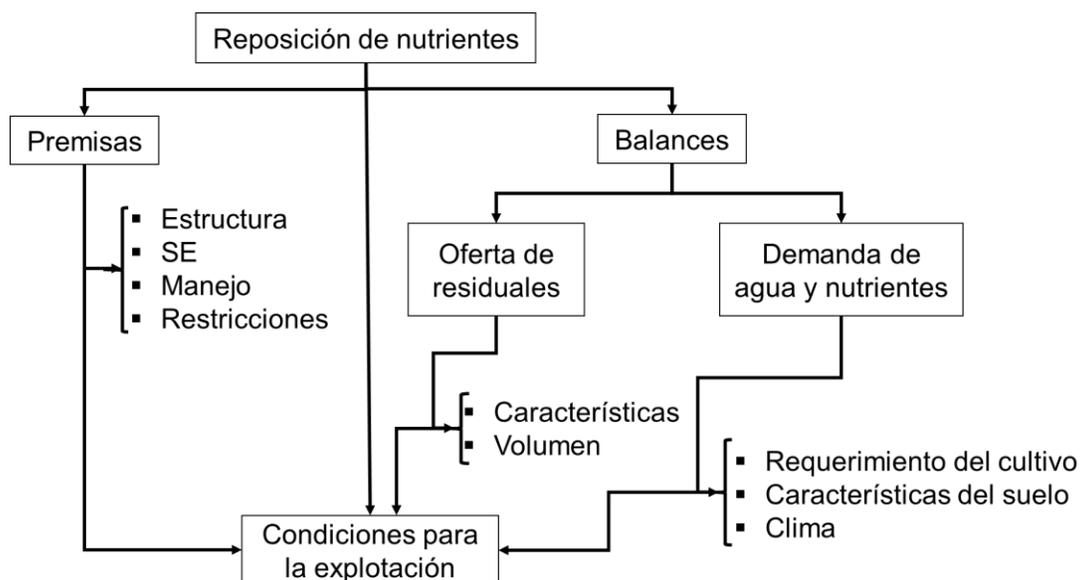


Figura 2.1. Aspectos básicos para la reposición de nutrientes en el agroecosistema cañero

2.1 Organización y estructura de la agroindustria cañera.

La UEB Jesús Rabí, se encuentra ubicada en el municipio de Calimete de la provincia de Matanzas (Figura 8). El suelo predominante es del tipo ferralítico rojo según la clasificación genética de 1975 en sus 3 principales subtipos, desglosados según se presenta en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Suelos destinados al cultivo de la caña de azúcar en la UEB Jesús Rabí

Tipo	Subtipo	Porcentaje (%)
Ferralítico Rojo	Típico	38.3
	Compactado	36.5
	Concrecionado	25.2

Este sistema agroindustrial se compone de un central para el procesamiento de la caña de azúcar, a fin de obtener diferentes productos requeridos por la sociedad (azúcar, etanol, mieles, etc.). El suministro de caña de azúcar (materia prima principal) es a partir de 18 unidades productoras; las cuales se subdividen en bloques y estos a su vez en campos (unidad mínima de manejo). La entidad posee un total de 131 bloques y 809 campos, ocupando un área total de 10300 ha. Posee 14 variedades comerciales de caña de azúcar, manejadas en 7 tipos de cepas; siendo los mayores porcentaje de retoños, socas y caña nueva y un menor porcentaje de cañas quedadas y fríos del año. Cerca de un tercio del área se encuentra con sistema de riego que permite alcanzar mayores rendimientos por unidad de área. El rendimiento medio de la caña de azúcar se encuentra alrededor de las 70 t/ha.

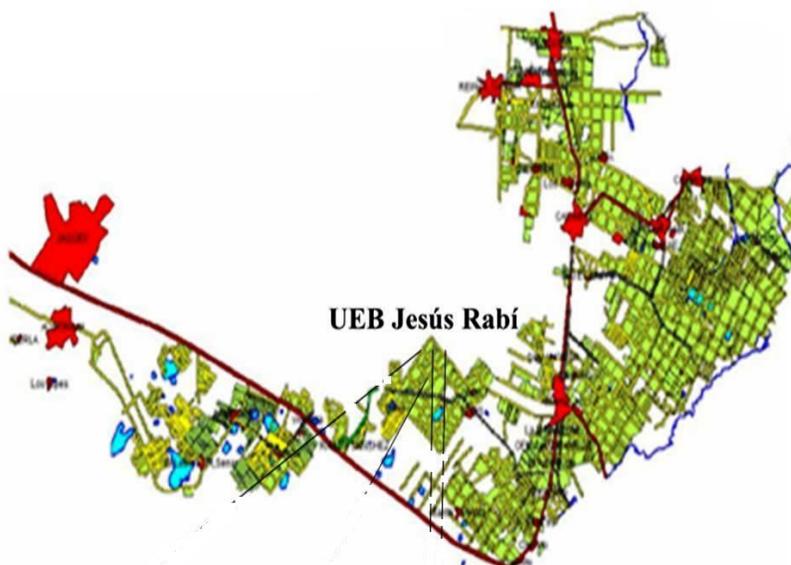


Figura 2.2. Esquema representativo de la estructura de la UEB Jesús Rabí

2.2 Identificación y manejo de servicios ecosistémicos

En el marco conceptual propuesto por la evaluación de los ecosistemas del milenio se clasifican los servicios brindados por los ecosistemas en cuatro tipos, como se expuso en el capítulo 1. En esta tesis se abordó la producción cañera como servicio de provisión y la gestión de la nutrición a partir de la fertilización para mantener los incrementos en el rendimiento cañero sin deteriorar los niveles del suelo. Este flujo de nutriente de manera antrópica se incorpora a los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes esenciales para el cultivo de la caña de azúcar.

El agroecosistema cañero se conforma de unidades con un manejo complejo, compuesto por diversos subsistemas con el objetivo de generar producciones y asegurar ingresos.

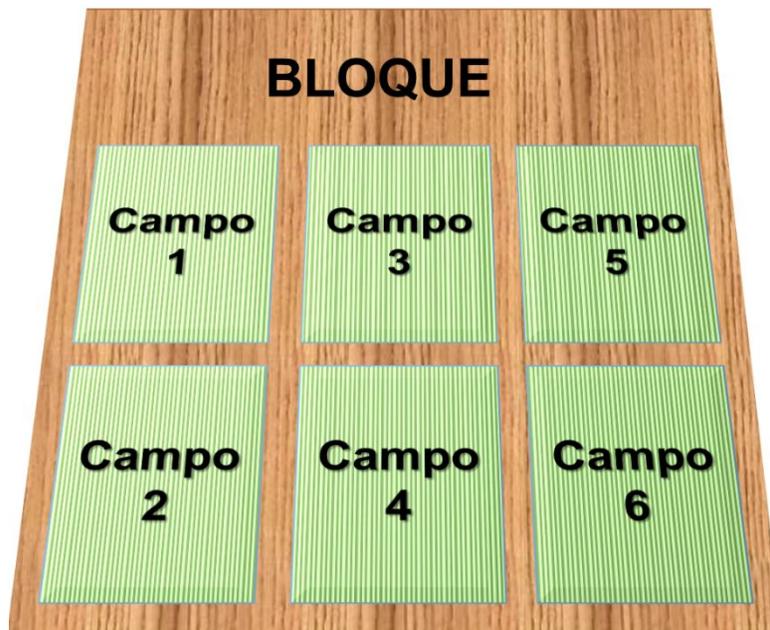


Figura 2.3. Estructura de las unidades de producción cañera

La concepción de unidades, bloques y campos es una estructura creada en el agroecosistema cañero, en la cual se establecen límites para el manejo de recursos y la gestión humana, las cuales interaccionan con las estructuras, procesos y funciones ecosistémicas.

2.3 Fertilización de la caña de azúcar

La evaluación de la fertilidad del suelo es el proceso mediante el cual se realiza un diagnóstico de los problemas de nutrición y se hacen recomendaciones de

fertilizantes. Existen diferentes métodos, los más difundidos se basan en el análisis de suelo, análisis de planta, técnicas de elementos faltantes, ensayos de fertilizantes simples y con frecuencia combinaciones de ellos. (Fernández *et al.*, 2010)

a) Criterios utilizado para determinar las necesidades de fertilizantes nitrogenado

- **Tipo de suelo y propiedades:** hidromorfía, compactación, textura y el contenido de materia orgánica.
- **Cepas:** Caña planta y Retoños.
- **Rendimiento Esperado:** Se tendrá presente el índice de consumo, la extracción por la cosecha y las exportaciones.
- La necesidad de fertilizantes fosfóricos para este cultivo es baja, raramente supera los 0.4 – 0.6 kg de P_2O_5 por toneladas de tallos, en dependencia de la capacidad de fijación de este nutrimento por el suelo.

b) Criterios para recomendar las dosis de fósforo

- Para estimar la cantidad de fósforo a aplicar se tiene en cuenta el contenido de las formas asimilables de este nutrimento en el suelo.

c) Criterios utilizados para determinar las necesidades de fertilizantes potásicos.

- Tipos de suelos y sus propiedades (Minerales presente y Fijación del elemento)
- Contenido del potasio intercambiable en el suelo.
- Cepas de caña de azúcar. (Caña planta y 1er Retoño y 2do retoño en adelante)
- Rendimiento esperado (Índice de consumo, extracción y exportación)

2.4 Alternativa a la fertilización inorgánica.

En el proceso de fabricación de azúcar se producen alrededor de 0,6 metros cúbicos de residuales líquidos por toneladas de caña molida. El residual de crudo se puede emplear como fuente suplementaria de agua para regadío de los cañaverales, a la vez que suministra nutrientes para el cultivo y se evitan daños al medio ambiente.

Acorde a los estudios del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar se recomienda aplicar seis riegos de 500 metros cúbicos de residual de por hectárea con lo que se garantizan los requerimientos de agua y se disminuye las dosis de fertilizantes inorgánicos, pues estas aplicaciones aportan como media 150 kg de N, 225 de P₂O₅ y 150 de K₂O.

EL mosto o vinaza constituye el principal residual líquido de la fermentación de la producción de alcohol. Por cada hectolitro de alcohol producido, se obtienen 1,6 metros cúbicos de vinaza.

La composición de la vinaza es muy variable pero como promedio cada metro cubico aporta 1,8 kg de N, 1,5 kg de P₂O₅ y 4,5 kg de K₂O. La aplicación de 60 metros cúbicos por hectárea garantiza los nutrientes necesarios para la fertilización de la caña de azúcar. (Cuéllar *et al.*, 2003).

Para suplir las necesidades nutricionales del cultivo con residuales líquidos de la industria es necesaria la existencia de un sistema de aplicación de los mismos.

2.5 Descripción del proceso tecnológico para la gestión de residuales

El sistema de tratamiento de residuales actual está compuesto por las siguientes áreas:

1. Sistema de zanjas
2. Trampas de grasas
3. Separador de sólidos
4. Conductora de residuales
5. Lagunas de tratamiento de residuales
6. Vaso de riego
7. Sistema de riego

En el Complejo se generan efluentes líquidos, industriales además otros efluentes gaseosos y sólidos.

Los residuales líquidos de la fábrica se evacuan mediante un sistema de canales llamados zanjas y conductoras subterráneas, el cual se diseñó acorde a las características y disposición de los equipos en dicha fabrica. Se separan las aguas de desecho fabril, de las albañales. Este sistema finaliza en las trampas de grasas las cuales tiene la función de separar las grasas del resto del flujo de residual.

La Red Industrial Principal tendrá como destino final el riego de las áreas cañeras y estará compuesta fundamentalmente por los residuales líquidos del ingenio y la Destilería.

2.6 Procedencia de efluentes líquidos Industriales

a) Planta procesadora de caña: residuales líquidos azucarados procedentes del área de fabricación, con grasas y jugos procedentes de los molinos y residuales con alto contenido en sales procedentes de la limpieza de los filtros de la planta de tratamiento químico y de las purgas continuas, de las calderas.

b) Recepción y preparación de la caña (Basculador) y Planta moledora (Tándem): estos residuales arrastran residuos de la lubricación, poseen alto contenido en grasas, bagacillo y pequeñas cantidades de sacarosa, son recogidos y conducidos por zanjas hasta el tratamiento primario, encargado de eliminar las grasas para luego incorporarse al sistema de tratamiento.

c) Purificación: en esta área se eliminan las impurezas y otros azúcares presentes en el jugo por tanto se efectúan diferentes operaciones unitarias que dan origen a efluentes que contienen jugos azucarados, gomas, tierra, cachaza por lo cual poseen una alta DBO, se recogen mediante zanjas hasta un registro desde la cual se entrega al colector que la conduce al sistema de tratamiento.

d) Evaporación: aquí ocurre la concentración del jugo, las aguas residuales son originadas por la limpieza, posee alto contenido en azúcares, se dispone de los mismos al sistema de tratamiento junto a los del área de Purificación. En esta planta no se emplean productos químicos, la limpieza y desinfección se realiza utilizando calor y agua a presión.

Todas las torres y sistemas de enfriamiento son a circuito cerrado sólo se envían al sistema de tratamiento pequeñas cantidades de extracciones de agua y la liquidación total al final de la zafra mediante tubería. En el caso de la Planta de Generación de vapor produce corrientes líquidas debido a las purgas continuas con un alto contenido de sales, por lo cual debe analizarse con cuidado la posibilidad de incorporarlas al riego de las áreas cañeras.

Planta de tratamiento químico, los residuales productos del área poseen alto contenido de sales, por tanto estos residuales se unirán a los de la planta de Generación de vapor y entregados a un punto para su posterior tratamiento o disposición final.

Se realiza la separación de los efluentes industriales de los de aguas servidas ya que las características de ambos efluentes difieren, por tanto, las aguas residuales del proceso industrial serán enviadas a un sistema de tratamiento y las aguas servidas serán procesadas en otro sistema, en estas últimas se incluyen el Laboratorio, de mantenimiento.

e) Destilería: el efluente líquido son las vinazas, en su totalidad se emplearán para fertirriego. Otros residuos son: Flemazas las cuales son aguas con poco contenido de alcohol que se emplean en la limpieza de los fermentadores y el CO₂ será emitido a la atmósfera.

Los residuales industriales líquidos con excepción de aquellos que contienen altas concentraciones de sales, después de ser sometidos a tratamiento primario se unirán en un colector que los conducirá hasta un punto donde se almacenarán para su posterior utilización en fertirriego.

Residuales con alto contenido en sales procedentes de la Planta de tratamiento químico, planta de tratamiento térmico y planta de vapor, se unen y son enviados a tratamiento.

2.7 Bases de Diseño (Balances)

Alcance

Se definen las soluciones para la recolección de residuales líquidos y el tratamiento primario de los mismos. Queda fuera del alcance el tratamiento secundario, uso y/o disposición final del mismo.

2.7.1 Características de los residuales

Para la caracterización de los residuales se utilizó la información del diagnóstico ambiental realizado por el Instituto de Investigación de los derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) realizados en la zafra 2013-2014

2.7.2 Parámetros de diseño.

En la tabla 2, se muestran los diferentes tipos de residuales (sólido, líquido o gaseoso), así como procedencia, destino y cantidades, mientras que en la Tabla 3 se aprecian las diferentes corrientes de flujo, así como el DQO de cada una de ellas tomados de investigaciones realizadas por el ICIDCA.

Tabla 2.2 Tipos de residuales

Área		Destino	RESIDUAL LIQUIDO		
			Flujo m3/h		m3/d
			Promedio	Pico	
Tándem		Fertirriego	14,00	42,00	336,00
Purificación, evaporación y torre enfriamiento		Fertirriego	12,00	284,00	288,00
Planta eléctrica			4,57	13,70	109,68
Drenajes y purgas					
Planta de vapor		Alto contenido en sales(3)	20,80	62,40	499,20
Destilería	Vinazas	Fertirriego	380,00	400,00	
	Aceite fusel	quemar con bagazo	(0,14 t/h)		
	cabezas		(0,91 t/h)		
	CO2	atmósfera	(24,10 t/h)		
Limpieza de áreas		Fertirriego	0,20	9,00	4,80
Planta de tratamiento agua. Desechos sedimentador		Fertirriego	46,67	142,00	1.120,00
Agua limpieza del área		Fertirriego	0,15	0,5	3,60
Agua filtrada (limpieza clarificador, contiene sales		contiene sales(3)	0,07	0,20	1,68

Tabla 2.3. DQO por área de trabajo

Área	DQO (g/l)
Tándem	4,600
Purificación y Evaporación	3,273
Planta Eléctrica	0,090
Planta de Vapor	0,080
Planta de Tratamiento de Agua	0,090

2.7.3 Fórmulas y criterios utilizados

a) Cálculo del volumen y diámetro de la red de aguas residuales industriales.

El flujo de las aguas residuales industriales se determinó en base a las necesidades del proceso fabril por área y la Destilería entregan en un punto los efluentes que son recogidos por colectores que se integran a otro colector que recibe los efluentes de la nave de purificación, nave de la Planta moledora (previa separación de las grasas), extracciones y liquidación de las torres de enfriamiento. Estos colectores conducen los residuales a un colector que los conduce fuera del perímetro de la fábrica. Los efluentes de la Planta de tratamiento químico y de la Planta generadora de vapor se separan para recibir tratamiento diferenciado ya que se debe analizar la posibilidad de su utilización en el fertirriego.

El cálculo de los diámetros de los colectores se basó en los flujos picos, ver (Tabla 2) para los diferentes colectores, teniendo este dato se procedió con el mismo método de cálculo empleado en las aguas servidas, o sea se escogió la pendiente de 4 mm/m para tuberías de PVC, relación de llenado $\geq 0,50$ obteniendo los diámetros de los diferentes colectores que oscilan entre 8" (200 mm) y 20" (500 mm). El colector general que conduce el total aguas servidas industriales hasta los límites de la Planta será de 24" (600 mm).

b) Material de los colectores.

Para la construcción de los colectores se empleará tubería de PVC y CPVC ya que este material es inmune a gases y líquidos corrosivos de los sistemas de desagüe o aguas negras e inertes a la acción de los productos químicos y altas temperaturas

(entre 80 y 95°C para el CPVC). Las uniones se realizarán por juntas de goma *uni-safe*, este sello de goma le proporciona estanqueidad y flexibilidad a la conexión, soportando los asentamientos diferenciales del suelo. Para su instalación se excavarán zanjas, con entibado, 0,90 m de ancho, con una profundidad mínima de 2,00 m al lomo de la tubería, se usarán apoyos clase B ó C.

c) Determinación del caudal necesario para la estación de bombeo

Se parte del criterio de que se va a entregar una norma bruta de residuales de 300 m³/ha y que solo se podrá bombear 20 horas días, además el área asignada para cada enrollador asciende a 25 ha, por tanto para la EB #1 se necesitan 6 enrolladores para las 150 ha.

Cada enrollador atiende 8 hidrantes y debe regar 2 posiciones /dia/ hidrante, lo que hace que el tiempo de riego es de 8 días.

El caudal de agua a extraer por la EB se calcula por:

$$Q = \frac{N_b \cdot A_c}{3,6 \cdot 0,8 \cdot IR \cdot t} = (l/s) \quad (1)$$

Donde:

N_b = Norma bruta en m³/ha

A_c = Área de cultivo en ha

T = Dias para dar un riego = 0,8* (IR)

IR= Intervalo de riego

t = Horas de riego diarias

Sustituyendo:

$$Q = \frac{240 \cdot 150}{3,6 \cdot 0,8 \cdot (8) \cdot 20} = 73,8 \text{ l/s}$$

Por lo que cada enrollador deberá entregar un caudal de 73,8/ 6 = 12,3 l/s

Para el área de 100 ha el caudal de la EB #2 sería entonces: 12,3 *4 = 49,2 l/s

e) Determinación de las pérdidas de carga por conducción para EB # 1 y 2.

Dada la complejidad del sistema en el sentido de que también se implica en el mismo un pivote central que también regará residual y que tanto los enrolladores como el pivote, una vez que termine zafra alternará con agua de dos pozos, pero también se debe tener en cuenta que continúa la producción de la destilería.

Según el instructivo del IPROYAZ las pérdidas por conducción se deberán calcular por la fórmula de Hazen-Williams, mientras que las pérdidas por accesorios mediante el método de tubería equivalente

$$H_f = 1,189 * 10^{10} * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} * L \quad \text{Fórmula de Hazen-Williams (2)}$$

Donde:

H_f : Pérdidas por fricción en tuberías (m)

Q : Caudal en l/s

D : Diámetro interior de la tubería en m

L Longitud de la tubería en m

C : Coeficiente de rugosidad del material

Carga dinámica total

$$CDT_{NEC} = H_f + C, \text{ HIDRANTE} + \text{DESN TOPO} \quad (3)$$

Donde:

CDT_{NEC} : Carga dinámica total (m)

H_f : Pérdidas por fricción en tuberías (m)

$C, \text{ HIDRANTE}$: Carga necesaria en el hidrante (m)

DESN TOPO : Desnivel topográfico medido desde la succión hasta la salida del aspersor en el punto crítico (m) (según software Mapinfo)

2.8 Diagramas del manejo de residuales para fertirriego

Las aguas residuales provenientes de la destilería y del ingenio se depositan en el reservorio 1, para posteriormente pasar a los sedimentadores 2 y 3 (Figura 9) para continuar aguas abajo a través de una conductora soterrada de PVC de Ø 500 mm, hacia la laguna de riego, la cual está situada aproximadamente a 1200 m. Se seleccionó este material debido a su calidad (resistente a la agresividad del residual, baja resistencia a la fricción y su costo relativamente barato). Una vez que el agua es depositada en la laguna de riego, esta pasa por conducción soterrada a la Estación de Bombeo que es la encargada de impulsar dicha agua al sistema de enrolladores y al pivote central, tal como se observa en la Figura 10.

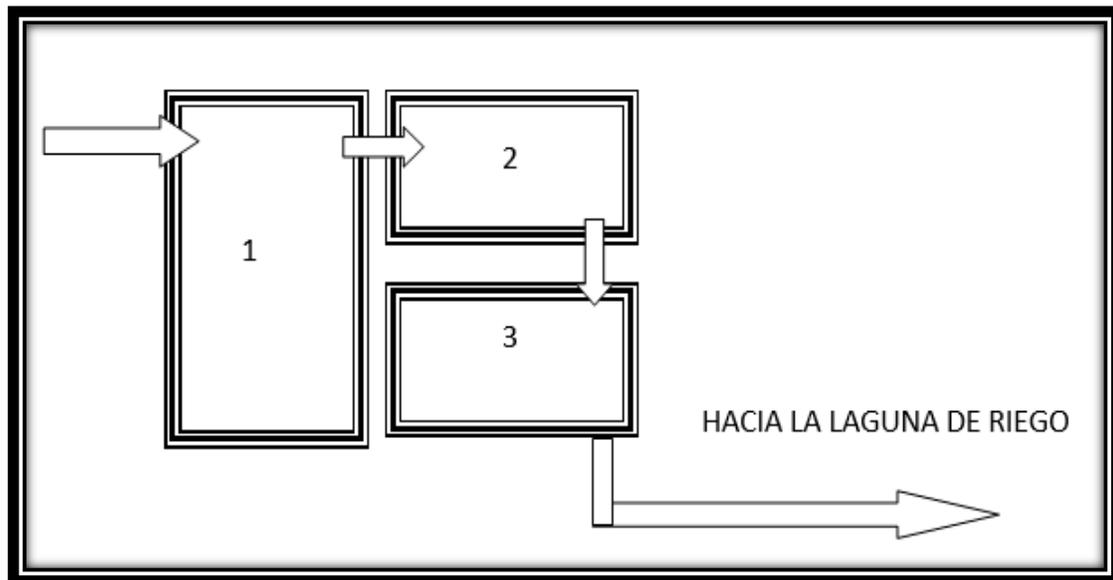


Figura 2.4. Esquema de circulación inicial

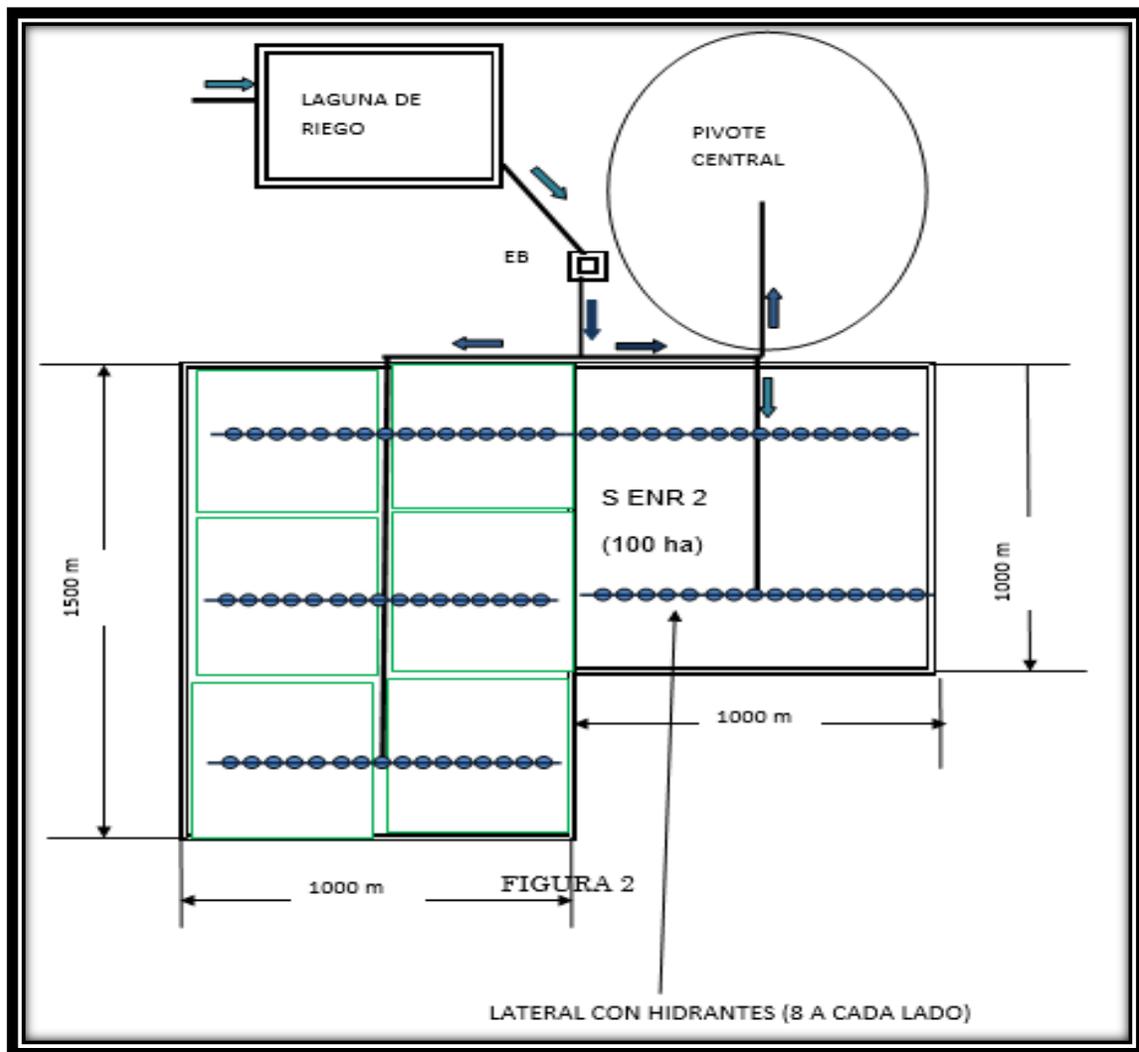


Figura 2.5. Esquema de aplicación

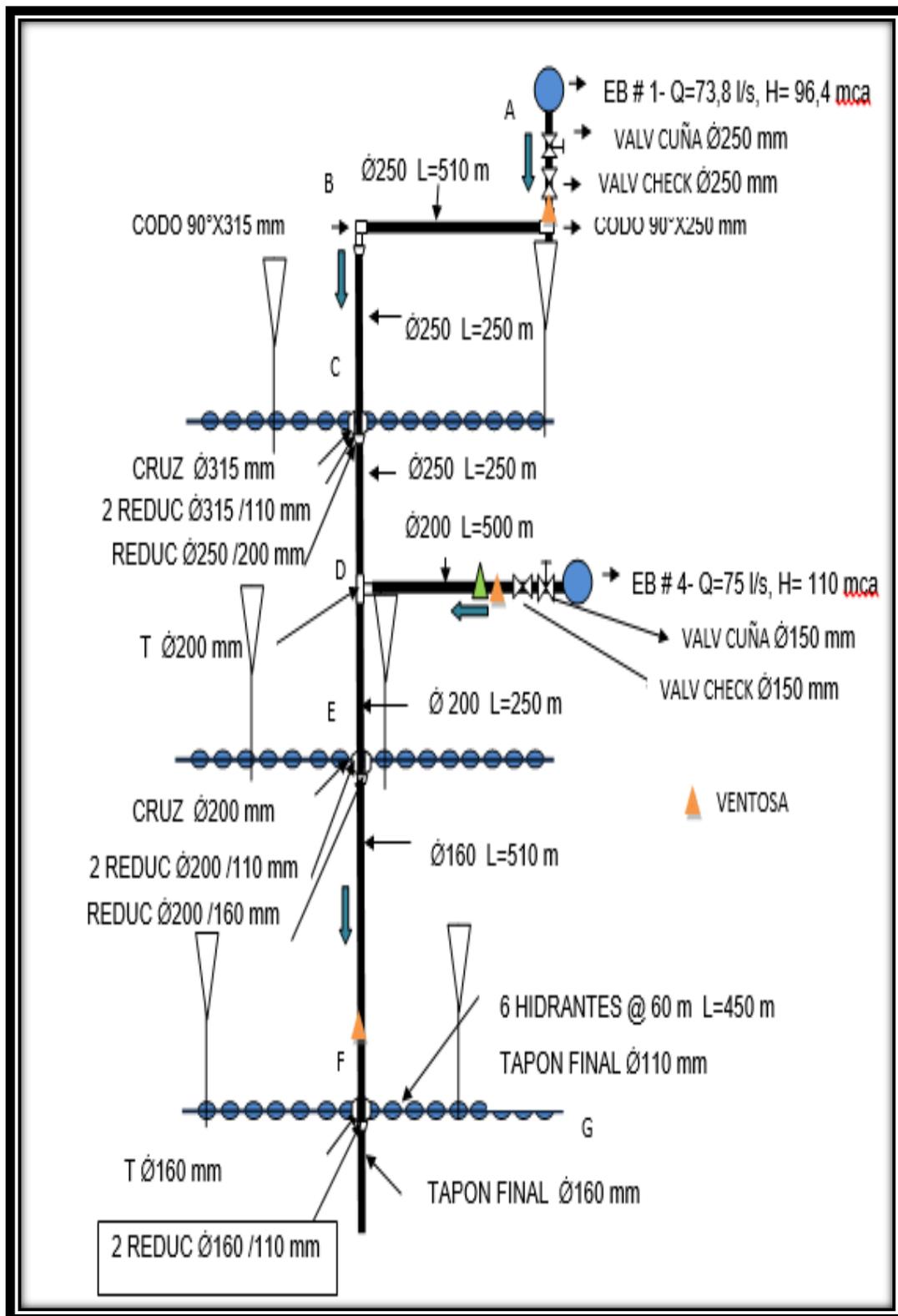


Figura 2.7. Diagrama de bombeo estación de bombeo # 1 y 4 (6 enrolladores, Área = 150 ha

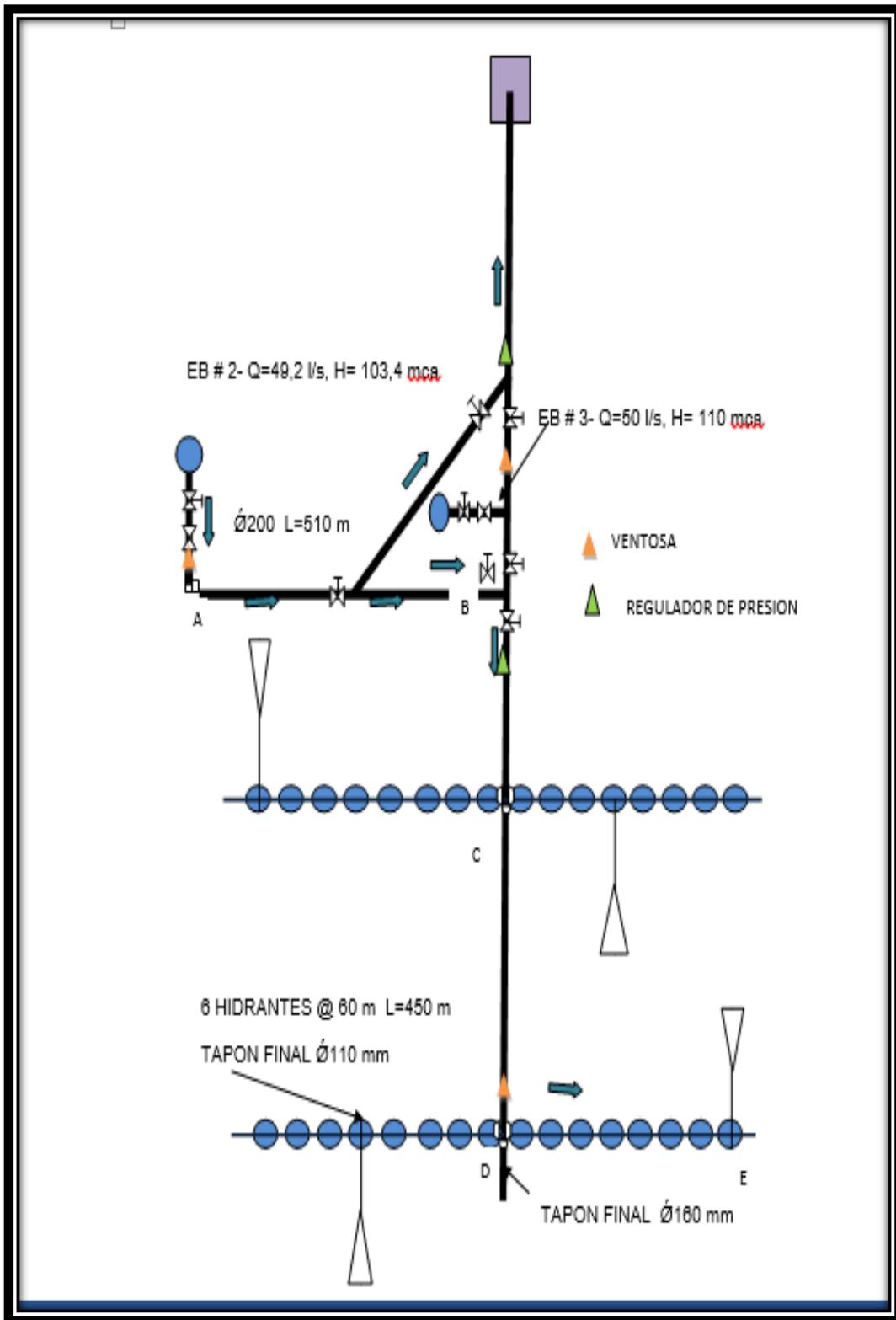


Figura 2.6. Diagrama de bombeo estación de bombeo # 2 y 3 (4 enrolladores, y un pivote central; Área = 178 ha)

Las figuras 2.6 y 2.7 representan los esquemas de conducción para los sistemas de riego con enrolladores y de pivote central. Las EB 3 y 4 están conectadas al sistema de 6 enrolladores y al pivote central respectivamente, a la vez la EB 4 tiene la posibilidad mediante apertura y cierre de válvulas, de brindar agua limpia al sistema de 4 enrolladores y de esta manera se garantiza el bombeo de forma eficiente. Una vez culminada la campaña de riego de residual ambas estaciones poseen reguladores de presión habilitados para mantener la estabilidad del sistema.

2.9 Determinación del caudal

$$Q = A * V \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (4)$$

Q = Caudal

A = Área de la sección mojada en m^2

$$A = 0.785 * d^2$$

d = diámetro interior del tubo en m

V = Velocidad media de circulación en m/s

2.10 Aspectos básicos para la determinación de las características del suelo.

2.10.1 Muestreo de suelo

La base fundamental de los análisis de suelo, le corresponde al muestreo de suelo. Para los campos de caña se estableció a partir del sistema del servicio de recomendación de fertilizantes y enmiendas (SERFE) el siguiente procedimiento para la toma de muestra.

- ◆ Cada muestra estará formada por 30 sub-muestras tomadas en los primeros 20 cm de superficie.
- ◆ El muestreo se realiza por el diagonal del campo.
- ◆ El muestreo comienza y termina a más de 10 m de los bordes del campo.
- ◆ Todas las muestras se identifican a través de un documento llamado “Tarjeta de muestreo”, con la siguiente información: provincia, Unidad empresarial de base (UEB), unidad de producción, bloque, campo, fecha de muestreo, profundidad (cm) y quien realizó la muestra. Siempre se colocan dos tarjetas, una en el interior y otra en el exterior de la bolsa.

- ◆ Las muestras tomadas se conservan en un local previamente habilitado por la UEB hasta ser recibidas por los funcionarios del SERFE.
- ◆ Las muestras, al momento de ser tomadas se registran en una libreta de campo, donde aparece la misma información que en la tarjeta de muestreo, además de un número consecutivo.

A partir de este muestreo de suelo se determina el estado del suelo, es decir su aptitud para la producción de caña de azúcar y la necesidad de incorporación de nutrientes al suelo o no. Estos nutrientes en su mayoría son aplicados en forma de fertilizantes inorgánicos, pero estos pueden sustituirse en parte por la aplicación de residuales lo cual tributa en una disminución de los costos de esta actividad.

2.10.2 Determinaciones analíticas realizadas a las muestras de suelo

Para los análisis a las muestras de suelo se siguieron los criterios establecidos por el manual de procedimientos para los laboratorios químicos del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, vigente desde 2009.

a) Determinación del pH en cloruro de potasio (Método potenciométrico)

El objetivo de este método es la determinación de los hidrogeniones presentes en la solución del suelo, responsables de la acidez activa, aumentada por el desplazamiento de iones hidrógeno y aluminio cambiante hacia la solución del suelo. Cuando sobre la fase sólida del suelo actúa una solución de sal neutra (KCl), los iones hidrógeno mantenidos en forma cambiante pasan a la solución al ser desplazados por los cationes de la sal (K). Esto ocurre también con los iones Al que al pasar a la solución acuosa se hidrolizan, aumentando aún más la concentración de iones hidrogenados en la solución. La concentración de los iones hidrógeno en la solución se determina mediante un metro pH, usando una relación suelo: solución de 1:2.5.

Equipamiento

- Metro pH provisto de electrodo combinado.
- Balanza técnica de ± 0.01 g de sensibilidad.

Cristalería y útiles

Vaso de precipitados de 50 ml o recipiente plástico

Probeta de 25 ml

Matraz de 1000 ml

Matraz de 100 ml

Agitador de cristal de 4 – 6 x150 mm

b) Fósforo y Potasio asimilables (Método de Oniani)

El objetivo de este método es la determinación del fósforo y del potasio asimilables contenidos en la muestra de suelo, obteniéndose resultados satisfactorios para todos los suelos no carbonatados y algunos carbonatados cultivados con caña de azúcar.

Equipamiento

- Balanza técnica de ± 0.01 g de sensibilidad
- Balanza analítica de ± 0.10 mg de sensibilidad
- Agitador rotatorio de 60 - 260 oscilaciones/minuto.
- Espectrofotómetro.
- Fotómetro de llama.
- Baño de agua.

Cristalería y útiles

- Frasco plástico de 150 ml con cierre hermético
- Pipeta volumétrica de 10 ml
- Matraz aforado con tapa de 50 y 1000 ml
- Vaso de precipitados de 250, 400 y 1000 ml
- Bureta con llave de cristal de 25 ml
- Agitador de vidrio
- Frasco con gotero
- Papel de filtro cuantitativo de filtración medio rápida de 15 cm de diámetro
- Embudo 12 cm de diámetro
- Erlenmeyer de 250 ml
- Dispensador o frasco con pipeta de vaciado rápido

c) Determinación del fósforo asimilable

Método del Ácido Ascórbico

- Transferir una alícuota de 10 ml (2 a 40 µg de P) a un frasco volumétrico de 50 ml.
- Diluir con agua destilada hasta cerca de los 25 ml
- Adicionar 8 ml de la mezcla de reactivos.
- Enrazar con agua destilada, homogenizar.
- Medir la absorbancia a 880 nm después de 10 minutos.
- Preparar un blanco que contenga todos los reactivos excepto la solución de P.
- Añadir a cada matraz 10 ml de H₂SO₄ 0.1N, a partir de lo cual se sigue el mismo procedimiento que con las muestras para el desarrollo del color.
- Con las lecturas y concentraciones de cada punto, se confecciona el gráfico de calibración para los cálculos.

Cálculos:

$$P \text{ (ppm)} = (\text{Lect.} \times V \times 1000) / (m \times P \times A)$$

Donde:

Lect	Lectura obtenida en el Espectrofotómetro
V	Volumen de la solución extractiva en ml
1000	Para llevar la expresión a 1000 g de suelo
m	Pendiente de la recta (absorbancia / concentración)
P	Peso de la muestra en gramos
A	Alícuota tomada para desarrollar el color

d) Determinación del potasio asimilable

- Se preparó una serie de patrones para confeccionar el gráfico de calibración.
- Estos se preparan en matraces de 100 ml a partir de una solución de KCl 0.01N
- Se ajusta el cero del fotómetro con agua destilada y el 100 con el último punto de la curva.
- Se obtiene la lectura fotométrica de cada muestra directamente del filtrado.

Cálculos

- Los resultados se obtienen directamente del gráfico, y se correlaciona la lectura con la concentración, a partir del software SisLab.

Cada análisis realizado determina la categoría del suelo para caña de azúcar acorde a los intervalos de la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Categoría del suelo en función de los contenidos de fósforo y potasio y el grado de acidez.

Categorías	pH	P2O5	K2O		Nitrógeno	
			Suelos I	Suelos II		
mg/100g						
I	Muy ácido (<4.5)	Muy alto	>=13.0	>=25.7	>=32.0	Sin limitaciones
II	Acido (4.5-5.0)	Alto	13.0-3.6	25.7-15.5	32.0-13.8	Con limitaciones
III	Med. ácido (5.0-5.5)	Medio	3.6-1.2	15.5-10.9	13.8-8.8	
IV	Lig. ácido (5.5-6.0)	Bajo	<1.2	10.9-7.9	8.8-6.2	
V	Neutro (>6.0)	Muy bajo	-	<7.9	<6.2	

Conclusiones parciales

La restitución de nutrientes independientemente de la vía de realización, conlleva análisis técnicos-económicos y ambientales. Estos son fundamentales para la aceptada toma de decisión que contribuya a la sustentabilidad del agroecosistema y los incrementos en las producciones, requeridos por la sociedad.

Capítulo 3. Resultados y Discusión

Introducción

En este capítulo se exponen los resultados de aplicar los procedimientos descritos en el capítulo 2. La interpretación de los mismos se realiza acorde a la base de conocimientos expuesta en el capítulo 1.

3.1 Producción cañera (servicio de aprovisionamiento)

Al manejar un ecosistema para obtener mayores rendimientos en un cultivo específicos por encima de lo obtenido naturalmente, desequilibra la región en cuestión, se disminuye la biodiversidad y se rompen los ciclos naturales y de producción-consumo-reciclado-nueva producción. El entendimiento del metabolismo de la región tiene que ser premisa para la toma de decisión.



Figura 3.1. Región cañera de la UEB "Jesús Rabí"

Los servicios ecosistémicos son potenciado o afectados acorde a los manejos que realice el hombre para obtener determinados productos requeridos por la sociedad. Un manejo sostenible comienza en el entendimiento de los bienes y servicios ecosistémicos provisto en la región y su estrecha vinculación con las actividades

realizadas en el agroecosistema. A partir de esto se deben establecer las políticas, mecanismos que permitan la gestión del territorio desde una visión sistémica. No basta con proteger una determinada región en el tiempo en un sentido vertical, sino que se tiene que incurrir en las valoraciones que consideran las interacciones fuera de los límites del sistema productivo creado por el hombre.

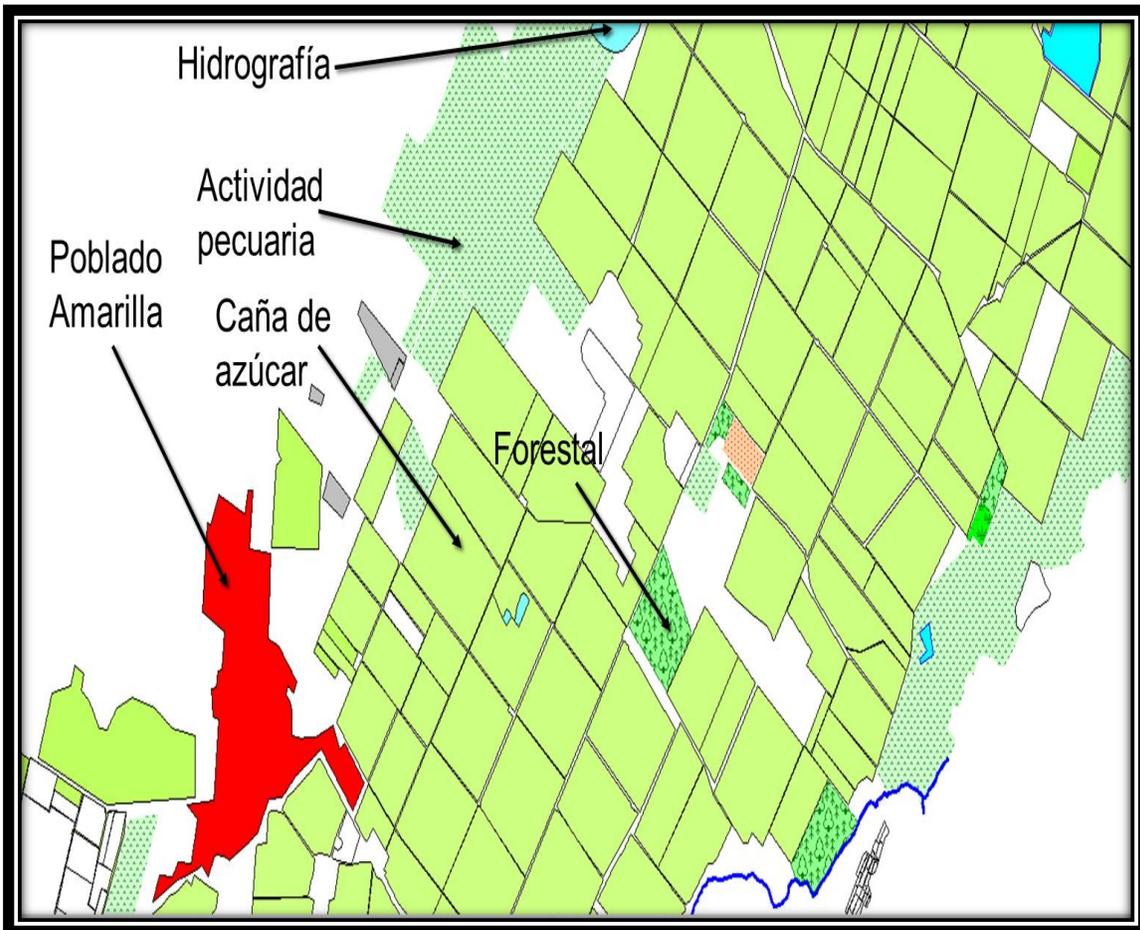


Figura 3.2. Diversas actividades interrelacionadas en la región

Tratar de entender un sistema de forma aislada dentro de una región es una simplificación de la diversidad y el funcionamiento real. El agroecosistema cañero, a pesar de las extensiones de tierra que ocupa, no se encuentra aislado. Además de poseer una diversidad varietal dentro del mismo cultivo, colinda con otros. Este sistema está en constante transformación, por la actividad humana para lograr una

producción que reporte ganancias y por funcionamientos naturales en el territorio. Acorde con Balvanera et al. (2009) la existencia de diversidad es fundamental en la regulación de plagas, enfermedades y en la fertilidad del suelo.

Cuadro 1. Servicios ecosistémicos identificados por este trabajo para la producción cañera

Servicio	Relevancia para la sociedad	Tipo de ecosistema o agroecosistema que genera el servicio	Procesos involucrados en el servicio	Actividades humanas relacionada en la obtención del servicio
Alimento derivado de la agricultura (caña de azúcar)	Sustento básico y recursos económicos	Campo agrícola	Productividad primaria: transformación de luz solar en tejido vegetal por medio de la fotosíntesis	Remoción de la cobertura vegetal, uso de insumos químicos, riego, maquinaria o sustitutos orgánicos, introducción de especies, selección o mejoramiento genético
Ciclado de nutrientes	Sustento nutritivo de las producciones agrícolas	Campo agrícola	Ciclos biogeoquímicos	Fertilización
Agua (cantidad)	Sustento básico, actividades productivas (agricultura, industria), funcionamiento de los agroecosistema	Agroecosistema y Ecosistemas de la región	Interacción entre patrones climáticos, vegetación, suelo y procesos del ciclo hidrológico	Construcción de presas, sistema de riego/alcantarillado, manejo de cuencas
Agua (calidad)	Regulación de concentraciones de contaminantes y organismos nocivos para la salud humana y la del ecosistema	Agroecosistema y Ecosistemas de la región	Interacciones químicas, físicas y biológicas de ecosistemas	Reducción en la liberación de contaminantes, mantenimiento de ecosistemas y procesos

Los avances en las tecnologías han permitido el aumento de la producción por unidad de área, lo cual es un aumento de la productividad, pero también es un aumento de las extracciones para una misma área. En la actualidad, está UEB alcanza rendimientos mayores a 70 t/ha.

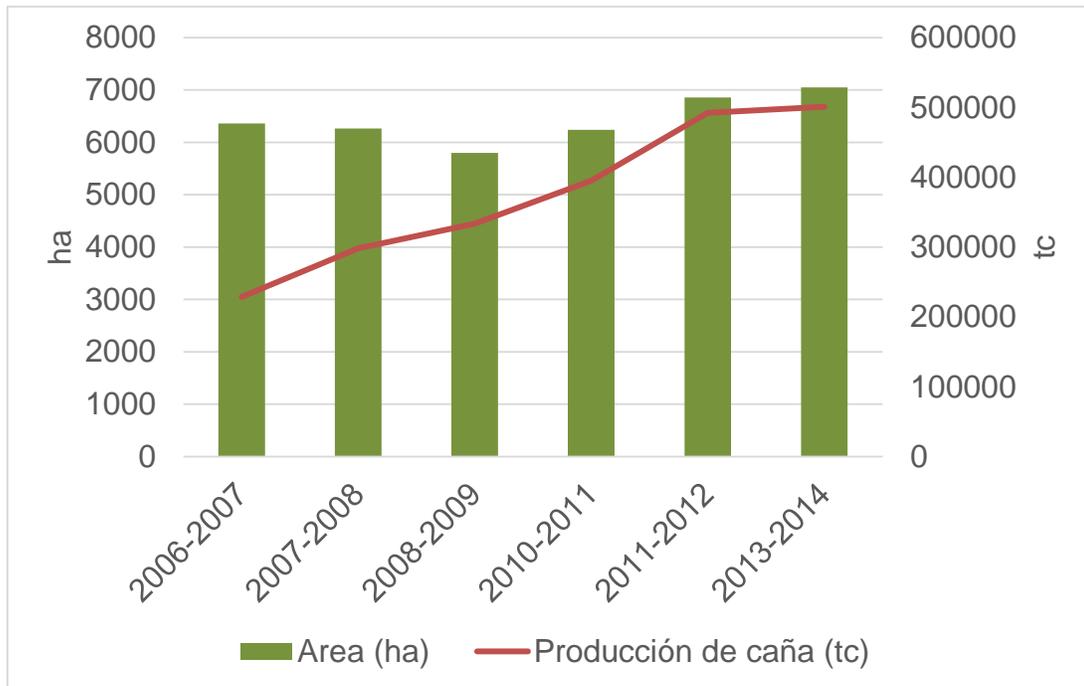


Figura 3.3. Tendencias de la producción cañera en la UEB “Jesús Rabí”

El manejo productivo agrícola lo que busca es incrementar un servicio, que en su mayoría es de aprovisionamiento, o sea el rendimiento por unidad de área. Esta puede ocasionar la reducción de otros servicios del ecosistema; situación que se agrava por mal manejo del agroecosistema, pues todos los servicios están vinculados entre sí. Los manejos del agroecosistema deben estar centrado en una relación de adaptación, de entendimientos de los equilibrios y dinámicas ecosistémicas en su totalidad.

3.2 Reposición de nutrientes

Para mantener altos rendimientos por área trabajada, se debe incorporar a través de externalidades, elementos que son extraídos del suelo. De la eficiencia con que se realice esta labor se influirá de manera positiva o negativa la sostenibilidad de las producciones y evitar así, la pérdida de nutrientes por la sobreexplotación de este

recurso. Una de las formas más utilizadas para mantener los estándares de producción es la incorporación de externalidades al ecosistema, como la aplicación de fertilizantes. Esto también se encuentra entre los principales gastos en que se incurre en la producción del cultivo de la caña. En Cuba, desde el año 1997 la aplicación de fertilizantes está regida por el Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE). Este servicio cambió los patrones de consumo, a partir de la elaboración de una recomendación para cada unidad mínima de manejo (campo de caña), a partir de criterios avalados por más de 40 años de investigación. A partir de las consideraciones del SERFE, se debe identificar primero las categorías en que se encuentra el área a fertilizar.

Tabla 3.1 Distribución de las categorías de suelo en el agroecosistema cañero de la UEB “Jesús Rabí”.

Categorías	pH	P2O5		Suelos I	Suelos II	Ret. viejos
		pH<=4.5	pH>4.5			
ha						
I	1 199.28	43.00	538.28	1 305.60		589.30
II	1 847.46	250.68	2 744.90	2 328.96		986.20
III	3 089.33	841.18	4 469.33	2 618.32		850.62
IV	2 038.15	349.19	1 057.29	2 308.40		779.40
V	2 119.63			1 732.57		533.92

Tabla 3.2. Resumen de la recomendación de fertilizante para el agroecosistema cañero

Nutrimiento	Dosis1	Portador	Dosis2	Area	Volumen	Costo	
	kg/ha		T/ha				ha
N	83.06	Urea	0.17	2 398.85		414.02	
		Nitrato de amonio	0.23			560.15	
		Amoniaco anhidro	0.10			4 923.57	509.48
		TOTAL N	////			7 322.42	////
P2O5	45.58	Superfosfato triple	0.10	8 034.86		796.20	
K2O	98.00	Cloruro de potasio	0.16	8 542.92		1 395.30	

Con la fertilización se busca mantener los niveles de nutrientes extraídos del suelo y de esta forma evitar la pérdida de fertilidad. Pero este es solo uno de los elementos necesarios para mantener los altos rendimientos por unidad de área. Esto se debe vincular con un adecuado manejo de variedades y prácticas no solo agronómicas sino, ecológicamente adecuadas con el agroecosistema.

La degradación, sea por pérdida o deterioro de la vegetación o la contaminación del suelo tiene un impacto sobre los servicios ecosistémicos que se proveen en la región.

3.3 Alternativa a la fertilización mineral

La aplicación de los residuales en los campos de caña de azúcar tiene que estar regida, por las características del suelo y las necesidades hidrológicas del cultivo, lo cual está en coordinación con las precipitaciones, es decir el riego debe ocurrir en los meses de menor precipitación y disminuir en los meses de mayor precipitación.

3.3.1 Categoría de Fósforo y Potasio asimilables en zonas adyacentes a las lagunas de residuales

Se tomaron 29 muestras de suelo de las áreas cercanas a las lagunas para ver las características del suelo para la asimilación de residuales.

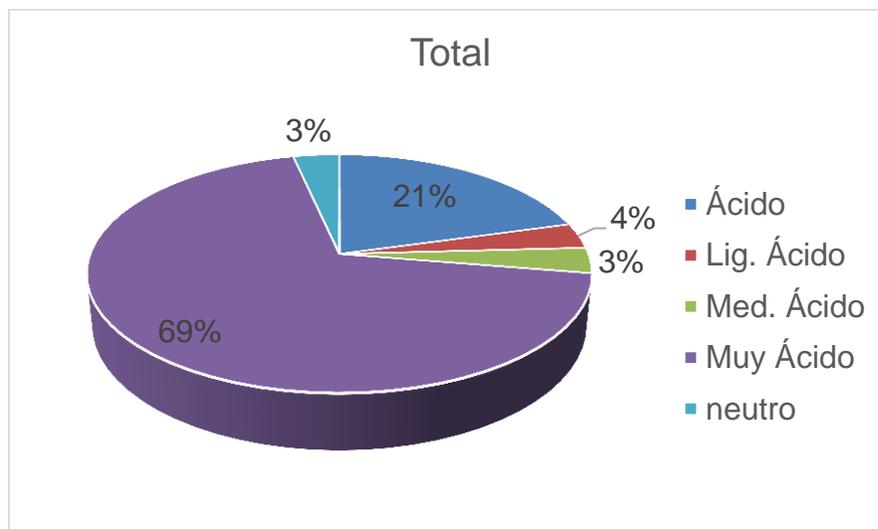


Figura 3.4. Categorías de pH de las muestras de suelo

Se debe limitar el uso de residuales en áreas con valores de pH que estén en la categoría de ácido y muy ácido, para evitar alteraciones en el suelo y que tributan en una disminución de los rendimientos, además de la afectación ambiental.

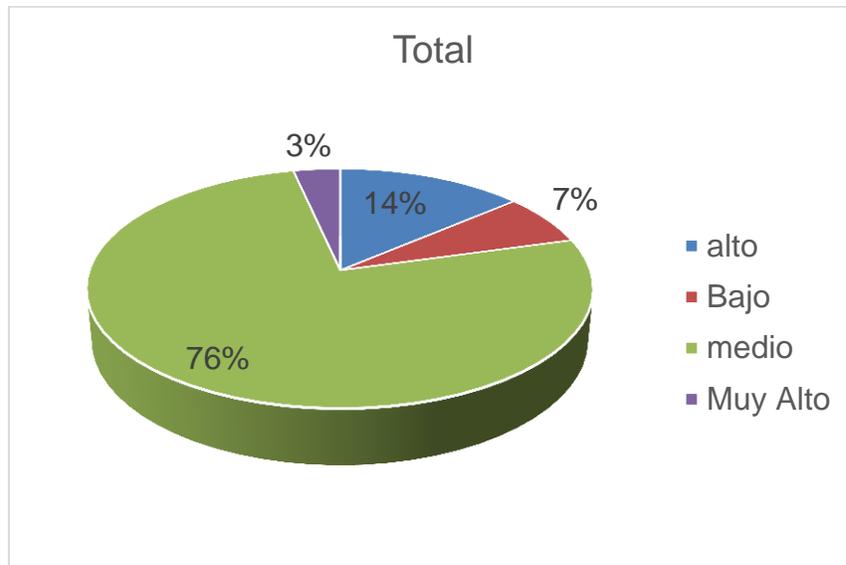


Figura 3.5. Categorías de fósforo asimilables en las muestras de suelo

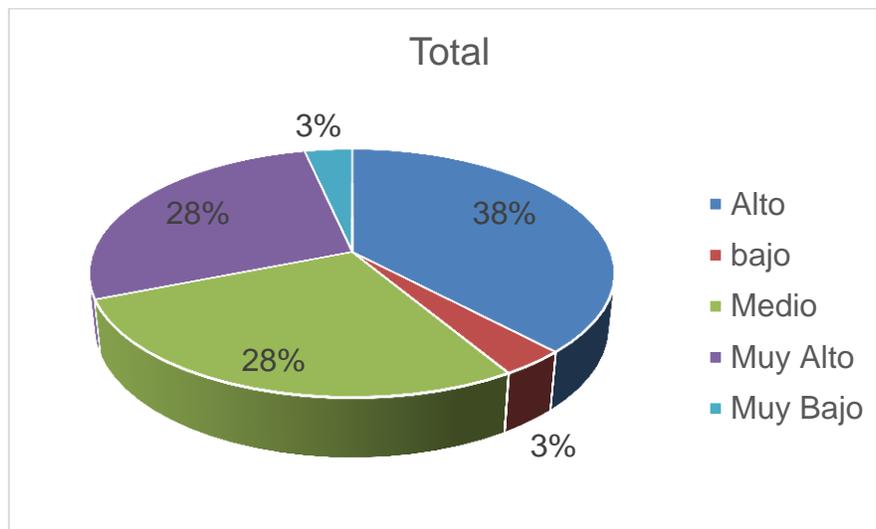


Figura 3.6. Categorías de potasio asimilables en las muestras de suelo

Al igual que la fertilización mineral, no es necesario aplicar residuales en las áreas con contenido de potasio asimilable, comprendido en la categoría de muy alto.

3.3.2 Distribución de las precipitaciones

La distribución de la lluvia para el año medio seco será de 1160 mm/año según se aprecia en el siguiente gráfico, apreciándose que en los meses comprendidos en el período seco del año (Noviembre-Abril) se deben esperar lluvias inferiores a 47 mm, mientras que en el período lluvioso se deben esperar más de 114 mm/mes, por tanto se cuenta con las bases necesarias para el cálculo del Régimen de riego. Pues el riego se aumenta para los periodos secos y disminuye en los periodos lluviosos, para lo cual se determina además la necesidad del cultivo.

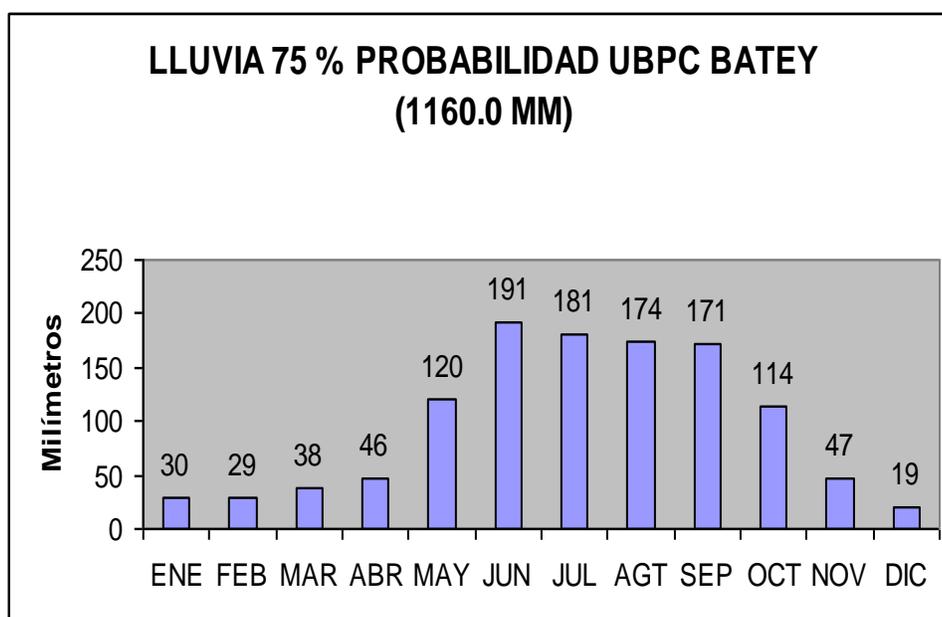


Figura 3.7 Distribución de las precipitaciones

Tomado del proyecto agronómico para agro-caja en la UBPC Batey

3.3.3 Evapotranspiración de la caña de azúcar para diferentes ciclos de siembra y cosecha

El consumo diario de agua por el cultivo de la caña de azúcar se expresa en el siguiente gráfico para diferentes cepas y ciclos de cosecha, apreciándose que este cultivo en dependencia de la edad de la plantación y del inicio del ciclo vegetativo es capaz de consumir desde 2 y hasta 8 mm/día.

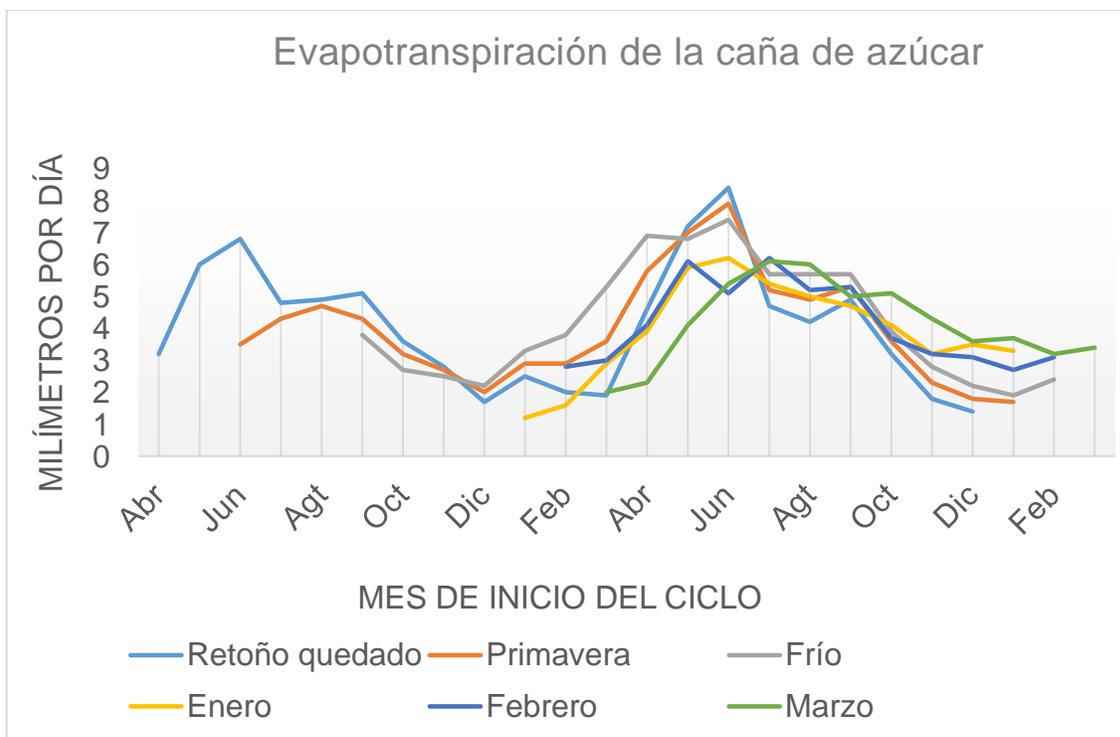


Figura 3.8. Evapotranspiración de la caña de azúcar

3.4 Características del sistema para aplicar residual

El área que se pretende regar con residuales se encuentra en la UBPC Batey de la Empresa Azucarera Jesús Rabí, municipio Calimete en la Provincia de Matanzas, con un área a regar de 328,0 ha, de las cuales corresponde al Banco de Semilla Registrada, 150,0 ha con 6 enrolladores, 100,0 ha con 4 enrolladores y 78,0 ha mediante pivote central, estas dos últimas en áreas de producción. El sistema consta de una estación de bombeo con dos bombas horizontales fabricadas especialmente para el bombeo de residuales, con su correspondiente red de riego, nudos, accesorios e hidrantes para la toma por las máquinas enrolladoras. Las tuberías son de PVC (PN -10) con juntas elásticas. El riego de dicho residual se realizará con un total de diez (10) máquinas enrolladoras Modelo IRTEC 110mm/250m. Junto a estos enrolladores se acoplará un pivote central para el riego de residual. Como complemento de este sistema se integrará 2 bombas de pozo profundo que alternará en el sistema para el riego con agua limpia. Las principales características son:

- Espaciamiento entre hidrantes: 60 m.
- Tipo de suelo: Ferralítico Rojo.

- Norma parcial bruta de riego: 240 m³/ha.
- Eficiencia de aplicación del sistema: 75 %.
- Intervalo de riego: 8 días.
- Tiempo de riego efectivo diario: 20 horas.

Como requisito para el diseño hidráulico se considera como velocidades de diseño por la vía crítica, serán preferentemente velocidades económicas de 1,20 a 1,5 m/s y en las restantes conductoras de la red será de hasta 2,00 m/s.

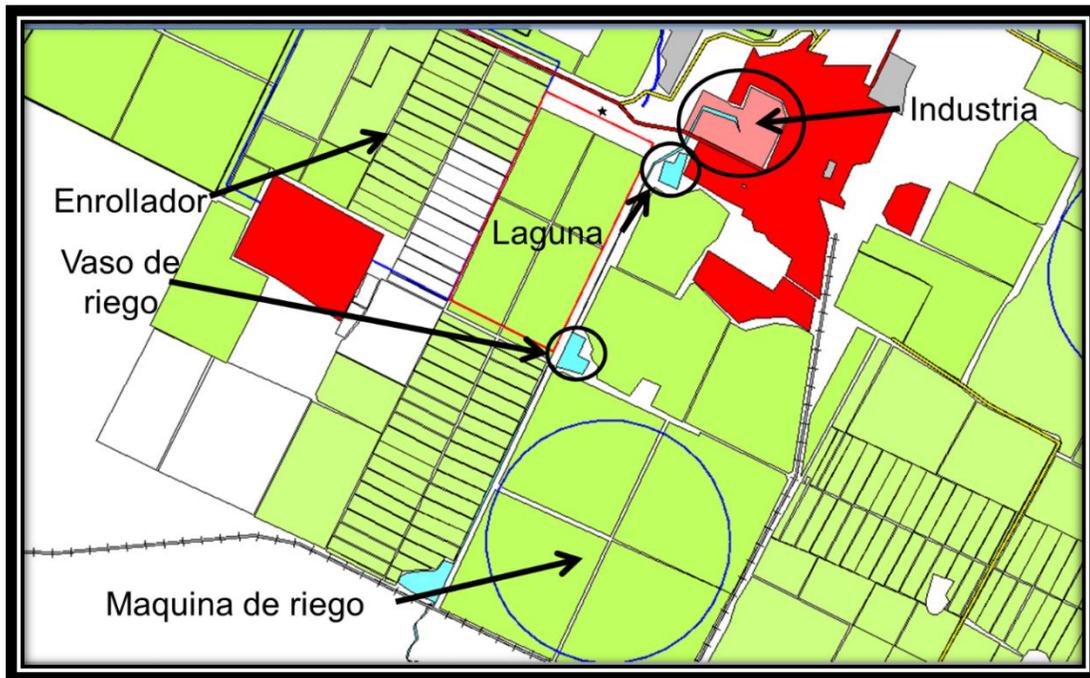


Figura 3.9 Ubicación geoespacial del sistema de aplicación de residuales

3.4.1 Resultados del diseño

- ❖ Tipo de aspersor *Twin Komet*, diámetro de boquilla $\varnothing=26$ mm, boquilla cónica,
- ❖ Ángulo de trayectoria del chorro: 24°
- ❖ Sector de trabajo del aspersor: 220°.
- ❖ Radio de alcance: 41 m.
- ❖ Presión en el aspersor: 30 m (3,0 bar).
- ❖ Descarga del aspersor: 12,2 l/s (43,9 m³/h)
- ❖ Velocidad requerida de la máquina: 27 m/h
- ❖ Cantidad de máquinas: 10
- ❖ Cantidad de posiciones diaria de la máquina en el hidrante: 2

3.4.2 Selección de la ruta crítica

Se determinó la presión en el hidrante crítico en el diseño, mediante la ubicación de la ruta crítica: salida EB, tramos A-B, B-C, C-D, D-E y E-F., donde se incluye la presión de trabajo del aspersor y 0,60 m de altura de elevador del aspersor para cuando la altura de la caña llegue a los 1,50 m.

3.5 Resultados del diseño hidráulico

La red de conducción y distribución que se ofrece tiene los diámetros necesarios para los requisitos hidráulicos del proyecto, está compuesto por tuberías de PVC de \varnothing 250, \varnothing 200 y \varnothing 160, y \varnothing 110mm, de unión elástica, enterrada a una profundidad mínima de 0,80 m. Las presiones nominales de trabajo serán PN-10 atm, suficiente para las presiones que se presentan en la red. Se ofrecen y describen todos los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento hidráulico del sistema, desde el kit de impulsión hasta los últimos nudos hidrantes, incluida una válvula de alivio rápido y de regulación para una posible sobre presión en el sistema, accesorios que se prevén para el posible paro imprevisto del sistema de bombeo, cierre brusco de alguna válvula o terminación del riego de alguno de los enrolladores. Los materiales utilizados en los diferentes nudos, son de materiales galvanizados con uniones por tornillos y con bridas de enlace, para unir diferentes tipos de materiales en las tuberías.

El análisis hidráulico del sistema en su vía crítica, se realizó sobre la base de la velocidad económica que optimiza económicamente el sistema de riego, Se realizó un balance de presiones en toda la red que determinó la selección de diámetros apropiados por cada conductora y válvulas codos en los hidrantes que garantizan mediante la regulación del cierre, introducir pérdidas de carga cuando sea necesario, y así evitar sobre presiones excesivas en el resto de las posiciones más favorecidas por la topografía del terreno, garantizando a su vez, que las presiones en los hidrantes no varíen más de 20 % de la carga de trabajo del aspersor, lo que asegurará que la variabilidad del caudal de diseño de los aspersores se mantengan dentro del 10 %.

En las siguientes tablas se resumen el cálculo de la red de tuberías y balance de presiones para ambas estaciones de bombeo, calculándose las pérdidas de carga en las tuberías por la fórmula de Hazen-Williams y los accesorios mediante tubería equivalente, según tabla confeccionada Diodado Pérez Franco (1986).

Tabla 3.3 Determinaciones en accesorios EB #1

ACCESORIOS	V CUÑA DIAM 231 mm	V CHECK DIAM 231 mm	CODO 90 DIAM 231 mm	
	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	TOTAL
A-B	1,7	20,4	7,9	30,0
	T DIAM 231 mm	CODO 90 DIAM 231 mm	CRUZ 90 DIAM 231 mm	
	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	
B-C	17,1	7,9	8,2	33,2
	T DIAM 185 mm	REDUC DIAM 185 mm		
	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)		
C-D	6,4	5,6		12,0
		REDUC DIAM 185 mm	CRUZ 90 DIAM 185 mm	
		LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	
D-E		5,6	6,3	11,9
			CRUZ 90 DIAM 148 mm	
			LONG. TUB. EQUIV. (m)	
E-F			4,7	4,7
	T DIAM 102 mm	REDUC DIAM 102 mm		
	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)		
F-G	6,7	4,1		10,8

Como se detalla en la Tabla 3.4 se agrupa por tramo los accesorios, se determinó para cada uno de ellos la magnitud de tubería equivalente mediante la tabla 6.7, pág. 245-246 del libro Riego y Drenaje. Para el tramo A-B se tiene los siguientes accesorios:

1. Una válvula de cuña (DE= 250mm, DI = 231 mm)
2. Una válvula de check (DE= 250mm, DI = 231 mm)
3. Codo 90° x (DE= 250mm, DI = 231 mm)

La suma de tubería equivalente por cada accesorio es de 30 m los cuales se han de adicionar a la longitud de tubería de dicho tramo, donde la longitud total es $L = 510 + 30 = 540$ m. Este resultado se aprecia en la Tabla 3.4

Las longitudes de tuberías de cada tramo se obtuvieron a partir de los planos topográficos generados por software Mapinfo y esta es la secuencia de cálculo que sucesivamente se realizó para la determinación de longitudes en la **EB #1 y EB #2**.

Determinar la carga total de bombeo, energía que debe satisfacer el equipo para vencer todas las resistencias en la conducción, el desnivel topográfico y garantizar la carga de presión en el punto crítico del enrollador. Este concepto es válido para determinar la carga total de bombeo del el pivote central. Los cálculos fueron realizados según los criterios del Instituto de Proyectos Azucareros (IPROYAZ). La determinación de las pérdidas por fricción en tuberías se realizó según la ecuación de Hazen-Williams, donde las variables son el caudal (Q), (D) como diámetro interior, coeficiente (C) que depende del tipo de material y la longitud L de cada tramo (se incluyen los accesorios). Se consideró la velocidad de circulación como limitante y según las normativas Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) estas no deben superar los 2 m/s.

Tabla 3.4. Determinación de las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios.

EB #1

Tramo	Q (l/s)	$Q^{1,852}$	D (mm)	$D^{4,871}$	C	$C^{1,852}$	L (m)	Hf (m)	V (m/s)
A-B	73,8	2881,6	231	3,25952E+11	150	10718,18	540	5,30	1,76
B-C	73,8	2881,6	231	3,25952E+11	150	10718,18	283,2	2,78	1,76
C-D	49,2	1359,9	185	1,10508E+11	150	10718,18	262	3,58	1,83
D-E	49,2	1324,3	185	1,10508E+11	150	10718,18	261,9	3,48	1,80
E-F	24,2	365,4	148	37268749056	150	10718,18	514,7	5,60	1,41
F-G	12,3	104,4	102	6079830009	150	10718,18	460,8	8,77	1,51
Total								29,50	

La fórmula general de cálculo de la Carga Dinámica Total (CDT) que debe tener la bomba para satisfacer la demanda de energía, para ambas estaciones de bombeo se determinó a partir de la ecuación (3) del capítulo 2.

Tabla 3.5. Determinación de la carga necesaria (CDT) para la EB #1

Hf	29,50
C.HIDRANTE	44,00
DESN TOPO	5,00
CDT NEC	78,50

Tabla 3.6 Determinaciones por accesorios EB # 2

ACCESORIOS	V CUÑA DIAM 185 mm	V CHECK DIAM 185 mm	CODO 90 DIAM 185 mm	
A-B	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	TOTAL
	1,4	16,2	6,4	24,0
B-C	V CUÑA DIAM 185 mm	T DIAM 185 mm		
	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)		
	1,4	13,1		14,5
C-D	REDUC DIAM 148 mm	T DIAM 148 mm	CRUZ DIAM 148 mm	
	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	LONG. TUB. EQUIV. (m)	
	3,1	10,1	5,6	18,8
D-E	T DIAM 102 mm			
	LONG. TUB. EQUIV. (m)			
	6,7			6,7

**Tabla 3.7. Determinación de las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios.
EB # 2**

Tramo	Q (l/s)	$Q^{1,852}$	D (mm)	$D^{4,871}$	C	$C^{1,852}$	L (m)	Hf (m)	V (m/s)
A-B	49,2	1359,9	185,00	1,10508E+11	150	10718,18	534	7,29	1,83
B-C	49,2	1359,9	185,00	1,10508E+11	150	10718,18	264,5	3,61	1,83
C-D	24,6	376,7	148,00	37268749056	150	10718,18	518,8	5,82	1,43
D-E	12,3	104,4	102,00	6079830009	150	10718,18	456,7	8,70	1,51
Total								25,41	

Tabla 3.8. Determinación de la carga necesaria (CDT) para la EB #2

Hf	25,41
C.HIDRANTE	44,00
DESN TOPO	4,00
CDT NEC	73,41

3.5.1 Estación de bombeo

De lo anteriormente expuesto el equipamiento de bombeo que garantizará el caudal y carga de la bomba tendrá las siguientes características:

EB#1

Q= 73,8 l/s

CDT NEC=78,5 m

EB#2

Q= 49, 2 l/s

CDT NEC=73, 4 m

Tabla 3.9 Diseño agronómico

DISEÑO	INDICADOR	UM
Cultivo	Caña de azúcar.	
Área Bruta	234	ha
Área neta-	218	ha
Método de Riego	Aspersión alta carga	
Marco de Plantación	1.60	m
Pendiente Promedio del terreno-	0.5 – 1	%
Longitud de Surcos	250	m.
Norma Bruta	240	m ³ /ha.
Eficiencia del Sistema	75	%
Tiempo de riego efectivo diario	20	h/día.

Tabla 3.10 Indicadores de explotación

INDICADOR	UM	MAGNITUD
Días de Riego por Año	d	181,00
Horas de Riego por Año	h	3.620,00
Volumen de Agua por Año	m ³	594.656,18
Consumo de Energía por año	kw	102.527,23
Cantidad de máquinas enrolladoras	u	10
Posiciones de riego por día	posición	2
Velocidad de trabajo de la máquina	m/hora	23
Distancia entre tomas	m	60
Área regada por día	ha	30,3
Días de campaña	días	160
Área regada en la campaña	ha	218
Número de riegos aplicados al área	riegos	10
VIDA ÚTIL ENROLLADOR Y PIVOTE	AÑOS	15

3.6 Cantidad de fertilizantes minerales para diferentes variantes

En la tabla 3.13 se observa la cantidad de fertilizantes minerales recomendados, sin considerar la alternativa de aplicación de residuales para el área que están bajo este sistema (variante 1). La variante 2 muestra la cantidad fertilizante a un 50% que se aplicaría combinado con la aplicación de residuales y la variante tres muestra solo la aplicación de residuales. Estos cálculos se realizaron para un año. Esto no puede aplicarse para todo el ciclo del cultivo (desde la siembra hasta la demolición) pues la aplicación de los residuales sobre una misma área todos los años puede afectar las características del suelo y por ende la producción. Por ello es fundamental el incremento de las áreas para garantizar una rotación en aplicación de residuales.

Tabla 3.11. Volumen de fertilizantes a utilizar

	Portador	Dosis (t)	Costo (USD/t)	Costo total por portador (USD)	Costo total (USD)	Diferencia (USD)
Variante 1 (100% dosis de fertilizantes)	Urea	50,20	407,5	20456,09	53776,57	26888,28
	SPT	20,82	463	9639,20		
	KCI	45,03	525,9	23681,28		
Variante 2 (50% dosis de fertilizantes)	Urea	25,10	407,5	10228,05	26888,28	
	SPT	10,41	463	4819,60		
	KCI	22,52	525,9	11840,64		
Variante 3 (0% dosis de fertilizantes)	Urea	0	407,5	sin costo en fertilizantes		
	SPT	0	463			
	KCI	0	525,9			

3.7 Determinación de los costos del sistema para la aplicación de residuales

En este sentido se tomó como base los criterios y orientaciones de AZCUBA para el cálculo de los mismos.

Tabla 3.12. Gastos de instalación de bombeo

		Año 1	
		MN	CUC
1	Inversión Fija	140.565,54	175.726,85
1,1	Construcción y Montaje	100.293,00	135.458,90
	INSTALACION TUBERIA PRINCIPAL	19.872,00	
	CONSTRUCCION DE HIDRANTES	23.659,00	
	CASETA DE BOMBAS	45.762,00	
	MONTAJE DE EQUIPOS	11.000,00	
1,2	Equipos	33.578,95	31.900,00
1,3	Imprevistos	6.693,60	8.367,95
2	Gastos Pre-Operativos	14.700,00	0,00
	Proyectos	7.000,00	
	Asistencia Técnica	6.500,00	
	Capacitación	1.200,00	
3	Prueba y Puesta en Marcha	1.645,00	
6	Inversión Total	158.555,54	175.726,85
	INDICE (MN/ha) (CUC/ha)	727,32	806,09

Conclusiones parciales

La reposición de nutrientes al suelo para evitar la pérdida de fertilidad del mismo es fundamental para mantener los equilibrios del agroecosistema y por ende la producción que de este deriva.

Se debe realizar un monitoreo del suelo bajo la aplicación de residual para detectar posibles afectaciones y/o contaminación. Por ello se debe lograr incrementar el sistema de aplicación de residual para realizar rotación en la aplicación del mismo, pues no se debe aplicar residual (principalmente vinaza) todos los años a una misma área.

Conclusiones

- Se identificó la producción cañera como un servicio de aprovisionamiento que al potenciarlo puede desequilibrar el agroecosistema y por ello es fundamental adoptar enfoques sistémicos.
- Se determinó los volúmenes de fertilizantes para el agroecosistema en general y para las áreas específicas bajo el sistema de aplicación de residual acorde a los incrementos en la producción.
- Se determinó las condiciones para la explotación del sistema de aplicación de residuales, bajo los criterios establecidos para los cálculos hidráulicos y necesidades del cultivo.
- Se determinó un costo de fertilizantes de 53776,57 USD y para la misma área, el costo de fertilizantes se puede reducir a la mitad (26888,28 USD) por la aplicación de residuales.

Recomendaciones

1. Se deben realizar estudios para incrementar las áreas para la aplicación de residuales
2. Se debe monitorear el suelo bajo la aplicación de residual para detectar cambios en sus propiedades que afecten el agroecosistema.

Bibliografía

1. Aisbett, E and Kragt, M., 2010. Valuing Ecosystem Services to Agricultural Production to Inform Policy Design: An Introduction. Research Report No. 73. Crawford School of Economics and Government. THE AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY. ISSN 1835-9728. Available from: https://crawford.anu.edu.au/research_units/eerh/pdf/EERH_RR73.pdf
2. Balvanera, P y Cotler, H. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. Gaceta ecológica número especial 84-85. Instituto Nacional de Ecología. Mexico. Disponible en: <http://www.google.com/cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=13&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0CGcQFjAM&url=http%3A%2F%2Fdigitalnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F2873776.pdf&ei=t7WMU8ChAsGMyATZ1IGqBw&usq=AFQjCNFR7e3Sz-XeMQdWOZtiXQPQlrgg4Q&bvm=bv.67720277,d.aWw>
3. Balvanera, P y Helena Cotler, H. 2007. Los servicios ecosistémicos y la toma de decisiones: retos y perspectivas. Gaceta ecológica número especial 84-85. Instituto Nacional de Ecología. México
4. Balvanera, P., H. Cotler *et al.*, 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 185-245. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II04_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf
5. Basanta, R.; García Delgado, M. A.; Cervantes Martínez, J. E.; Mata Vázquez, H.; Bustos Vázquez, G., 2007. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión Ciencia y Tecnología Alimentaria, vol. 5, núm. 4, pp. 293-305, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/724/72440508.pdf>
6. Bennett, E., Peterson, G. and Gordon J., 2009. Understanding relationships among multiple ecosystem services. Ecology Letters, (2009) 12: 1–11.

Available from: http://nrs-staff.mcgill.ca/bennett/pdfs/Bennett_EcologyLetters2009.pdf

7. Boyd y Banzhaf, 2006. What Are Ecosystem Services? *The Need for Standardized Environmental Accounting Units*. Resources for the Future. 1616 P St. NW. Washington, DC 20036 202-328-5000 www.rff.org. Available from: <http://www.rff.org/Documents/RFF-DP-06-02.pdf>
8. Camacho V. y Ruiz L, 2012. MARCO CONCEPTUAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. *Revista Biociencias*, Vol. 1 No. 4 p.3/15. Disponible en: <http://biociencias.uan.edu.mx/publicaciones/02-04/biociencias4-1.pdf>
9. Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 1997; 387: 253–260. Available from: http://www.esd.ornl.gov/benefits_conference/nature_paper.pdf
10. Crojethovich, A. 2004. Sistemas en Mosaico y Servicios Ambientales. Grupo de Análisis de la Sostenibilidad en Sistemas Complejos. *Sinergy brains*. Disponible en: <http://gasosic.org/docs/sistemasenmosaicoy-serviciosambientales.pdf>
11. Cuéllar I., Villegas R., de León M., Pérez H., 2002. Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. Editorial Pública. Unidad impresiones gráfica. Ciudad de La Habana. IBCN: 1234567834
12. Cruz, R.; Dopico, D.; Islén, P.; Villamil, G. Oramas, C.; Serantes, M. 1996. Desarrollo de Derivados de la Lignina. *Revista ICIDCA*, vol. XXX, No. Especial, pp. 63-74.
13. Daily GC (Ed.), 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC: Island Press. 392. Available from: http://cmbc.ucsd.edu/content/1/docs/Daily_1.pdf
14. Daily G., Alexander S, Ehrlich P., Goulder L, Lubchenco J, Matson P., Mooney H., Postel S, Schneider S., Tilman D, Woodwell G., 1997. *Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems*.

- Issues in Ecology. No. 2. Ecological Society of America. Available from:
<http://www.esa.org/esa/wp-content/uploads/2013/03/issue2.pdf>
15. Daily G., 2000. Management objectives for the protection of ecosystem services. *Environmental Science & Policy* 3, 333–339. Elsevier. *Environmental Science & Policy*. Available from:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.463.824&rep=rep1&type=pdf>
16. Daily G., Polasky S, Goldstein J, Kareiva P, Mooney H., Pejchar L, Ricketts T., Salzman J, and Shallenberger R., 2009. Ecosystem services in decision making: time to deliver *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 7, No. 1, The Role of Ecosystem Services in Conservation and Resource Management, pp. 21-28. Available from:
http://www.uvm.edu/giee/pubpdfs/Daily_2009_Frontiers_in_Ecology_and_the_Environment.pdf
17. De Groot RS, Wilson MA, Boumans RMJ, 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*; 41: 393–408.
18. De Armas, C.M. 1996. Panorama Energético de la Producción de Azúcar de Caña. Parámetros Históricos y Reservas. *Revista ICIDCA*, vol. XXX No. Especial, pp. 14-25
19. De la Rúa, C. 2009. Desarrollo de la Herramienta Integrada “Análisis de Ciclo de Vida –Input Output” para España y Aplicación a Tecnologías Energéticas Avanzadas. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en:
http://oa.upm.es/1941/1/CRISTINA_DE_LA_RUA_LOPE.pdf
20. Dierckxsens, W. 2013. La transición hacia una nueva civilización. Casa editora abril. La Habana. Cuba. ISBN 978-959-210-846-2.
21. Fernández, E.A.; García del Risco E; Campo, J; Justiz, R. Cuadras, F. García, Y. 2012 Los suelos y la fertilización de la caña de azúcar. Manual para productores cañeros. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar: Ciudad de la Habana, 78 pp

22. Ferraro, D. 2010. Eficiencia energética y servicios ecosistémicos. En: Latera, P; Esteban, G; Paruelo, J. (Eds). Valoración de Servicios ecosistémicos.
23. Fisher, Brendan; Costanza, Robert; Turner, R. Kerry; Morling Paul, 2007. Defining and classifying ecosystem services for decision making, CSERGE Working Paper EDM, No. 07-04. **ISSN 0967-8875**. Available from: <http://www.econstor.eu/bitstream/10419/80264/1/571829937.pdf>
24. Fisher, B.; Bateman, I. and R. Kerry Turner, 2011. Valuing Ecosystem Services: Benefits, Values, Space and Time. Ecosystem Services Economics (ESE) Working Paper Series. Division of Environmental Policy Implementation Paper N° 3. The United Nations Environment Programme. Disponible en: http://www.bioecon-network.org/pages/UNEP_publications/03%20Valuing%20Ecosystem%20Services.pdf
25. Giron, M., 2008. Evaluación de la posible contaminación del suelo y agua subterránea con elementos pesados por el uso de vinazas en el cultivo de la caña de azúcar. Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de especialista en consultoría ambiental. Universidad politécnica de Cataluña. España. Disponible en: http://www.cenicana.org/pdf/no_clasificacion/6274.pdf
26. Gómez-Baggethun E, de Groot R, 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. Ecosistemas; 16: 4-14. Disponible en: http://www.unich.edu.mx/wp-content/uploads/2014/01/pdfcompleto_revista_2007_3servicios%20ecosistemicos.pdf
27. ICIDCA, 2013. Diagnóstico ambiental de la UEB Jesús Rabí. Informe. Centro de gestión ambiental. La Habana, Cuba.
28. Isaac. C. 2012. Manual de gestión ambiental organizacional. 1^{era}. Ed. Barquisimeto Venezuela. ISBN: 978- 980-7357-02-9
29. Jørgensen SE, 2010. Ecosystem services, sustainability and thermodynamic indicators. Ecological Complexity; 7: 311–313
30. Kremen C., 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? Blackwell Publishing Ltd/CNRS. Ecology Letters, (2005)

- 8: 468–479. Available from: http://nature.Berkeley.edu/_kremenlab/wp-content/uploads/2014/02/kremen-c-2005managing-ecosystem-services-what-do-we-need.pdf
31. Mateo, J. 2005 La cuestión ambiental desde una visión sistémica. II ENCUENTRO LATINOAMERICANO SOBRE FILOSOFÍA Y MEDIO AMBIENTE. Manizales, Caldas, Colombia
32. Millennium Ecosystem Assessment, 2003 Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment. Washington, DC: Island Press. 49-70
33. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.82. Available from: <http://www.unep.org/maweb/documents/document.354.aspx.pdf>
34. MINAZ, 2009. Manual de procedimiento para los laboratorios químicos. Instituto de investigaciones de la caña de azúcar. Subdirección de servicios científicos técnicos. La Habana, Cuba.
35. Montes, C. 2007. Del desarrollo sostenible a los servicios ecosistémicos. Asociación Española de Ecología Terrestre. Revista Ecosistemas, Año 16 N° 3: 1-3. Disponible en: http://www.unich.edu.mx/wp-content/uploads/2014/01/pdfcompleto_revista_2007_3servicios%20ecosistemas.pdf
36. Moreno, S. 2007. El debate sobre el desarrollo sustentable o sostenible y las experiencias internacionales de desarrollo urbano. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. Disponible en: http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0CCIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww3.diputados.gob.mx%2Fcamara%2Fcontent%2Fdownload%2F164083%2F404773%2Ffile%2FDocumento_29_Desarrollo_sustentable.pdf&ei=FNx4VL36DqvD7qb5qIDoBg&usg=AFQjCNGV3loL0TAhfRvvPtS-DndebV81A&bvm=bv.80642063,d.cWc
37. Pacheco J., Alonso, N., Pujol P., Camejo E., 2006. Riego y Drenaje. Editorial Félix Varela. La Habana Cuba.

38. Pérez *et al.*, 2013. Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar. Grupo Azucarero AZCUBA. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
39. Rótolo, G, Francis, C. 2008. Los servicios ecosistémicos en el “corazón” agrícola de Argentina. Departamento de Agronomía y Horticultura. Universidad de Nebraska. Lincoln, NE, U.S.A. Disponible en: http://inta.gov.ar/documentos/los-servicios-ecosistemicos-en-el-201ccorazon201d-agricola-de-argentina/at_multi_download/file/los-servicios-ecosist%C3%A9micos-en-el-coraz%C3%B3n-agricola.pdf
40. Serrano y Quintana, 2012. Gestión ambiental En: Rubío, T. (Ed), 2013. Producción y consumo sostenible. Editorial Científico-Técnica. La Habana. Cuba. Capítulo 3
41. Soriano *et. al.* 2001. Ecología. CEABA. Disponible en: <http://www.agro.uba.ar/users/batista/EE/papers/flujoe.pdf>
42. Terry, C.; Gutiérrez, J.; Abó, M. 2010. Manejo de aguas residuales en la gestión ambiental. CIGEA. Playa, La Habana. Cuba. ISBN: 978-965-287-023-9
43. Terry, C; Rey, O. 2012. Evolución de las políticas ambientales preventivas. En: Rubío, T. (Ed), 2013. Producción y consumo sostenible. Editorial Científico-Técnica. La Habana. Cuba. Capítulo 1
44. Tortosa, B *et al.*, 2012. Producción más limpia y eficiencia en el uso de los recursos. En: Rubío, T. (Ed), 2013. Producción y consumo sostenible. Editorial Científico-Técnica. La Habana. Cuba. Capítulo 4.
45. TURNER, R. & DAILY, G. 2008. The Ecosystem Services Framework and Natural Capital Conservation. *Environmental and Resource Economics*, 39, 25-35.
46. Viglizzo, E; Lorena. Carreño L; Volante J; Mosciaro, M. 2010. VALUACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. En: Latera, P; Esteban, G; Paruelo, J. (Eds). Valoración de Servicios ecosistémicos.
47. Viglizzo, E.F., Paruelo, J.M., Láttera, Jobbágy, P. E.G. 2011. Ecosystem service evaluation to support land-use policy. *Agric. Ecosyst. Environ.*

doi:10.1016/j.agee.2011.07.007. Elsevier. ScienceDirect. Available from:
http://gea.unsl.edu.ar/pdfs/Viglizzo_et_al_AEE_2012.pdf

48. Waswa F. and Netondo G., 2014. Integrating Sustainability Ethics in Commercial Sugarcane Farming in the Lake Victoria Basin, Kenya Journal of Agriculture and Environmental Sciences, Vol. 3, No. 1, pp. 123-140. ISSN: 2334-2404. Available from: http://www.ku.ac.ke/schools/agriculture/images/stories/docs/research/Integrating_Sustainability_Ethics_Commercial_Sugarcane.pdf
49. Zaror. C, Zaror. 2000. Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos. Profesor titular departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ingenierías. Universidad de Concepción Chile.
50. Zhanga W, Rickettsb T H., Kremenc C, Carneyd K, Swintona S., 2007. Ecosystem services and dis-services to agricultura. ECOLOGICAL ECONOMICS 64, 253 – 260. Elsevier. ScienceDirect. Available from: <http://beahrselp.berkeley.edu/wp-content/uploads/2010/06/Ecosystem-Services-and-dis-services-to-agriculture.pdf>

Anexos

Anexo 1

Caracterización de los residuales

Determinación		Laguna 1	Laguna 2
DQO (mg/L)	Promedio	15485	6474
	Desviación estándar	8071	3354
	Coefficiente de variación	52	52
DBO (mg/L)	Promedio	5043	3797
	Desviación estándar	2690	1804
	Coefficiente de variación	55	48
pH	Promedio	4,49	4,54
	Desviación estándar	0,02	0,11
	Coefficiente de variación	0,45	2,42
CE (ms/cm)	Promedio	5,56	5,05
	Desviación estándar	1,47	0,51
	Coefficiente de variación	26	10
Nt (mg/L)	Promedio	20	29
	Desviación estándar	18	11
	Coefficiente de variación	92	39
Pt (mg/l)	Promedio	61	45
	Desviación estándar	44	25
	Coefficiente de variación	72	56

Anexo 2

Características tuberías de PVC presión con junta elástica

(d) Diámetro exterior (mm)	PRESION DE TRABAJO	
	10 ATM	
	(e) espesor	diam int (mm)
63	3	57
75	3,6	67,8
90	4,3	81,4
110	4,2	101,6
125	4,8	115,4
140	5,4	129,2
160	6,2	147,6
180	6,9	166,2
200	7,7	184,6
250	9,6	230,8
315	12,1	290,8
400	15,3	369,4
500	19,1	461,8
630	24,1	581,8

Anexo 3

Condiciones de trabajo de la bombas

Bomba centrífuga horizontal. EB 2
Fluido: Aguas residuales.
pH: Ácido y básico.
Densidad: 5 °Bx; 1.02 kg/l.
Viscosidad: 1.07 cP a 30 °C.
Temp.: 60 °C máx.
Trabajo continuo 24/24 h y 7500 h/año.
Impelente: Cerrado

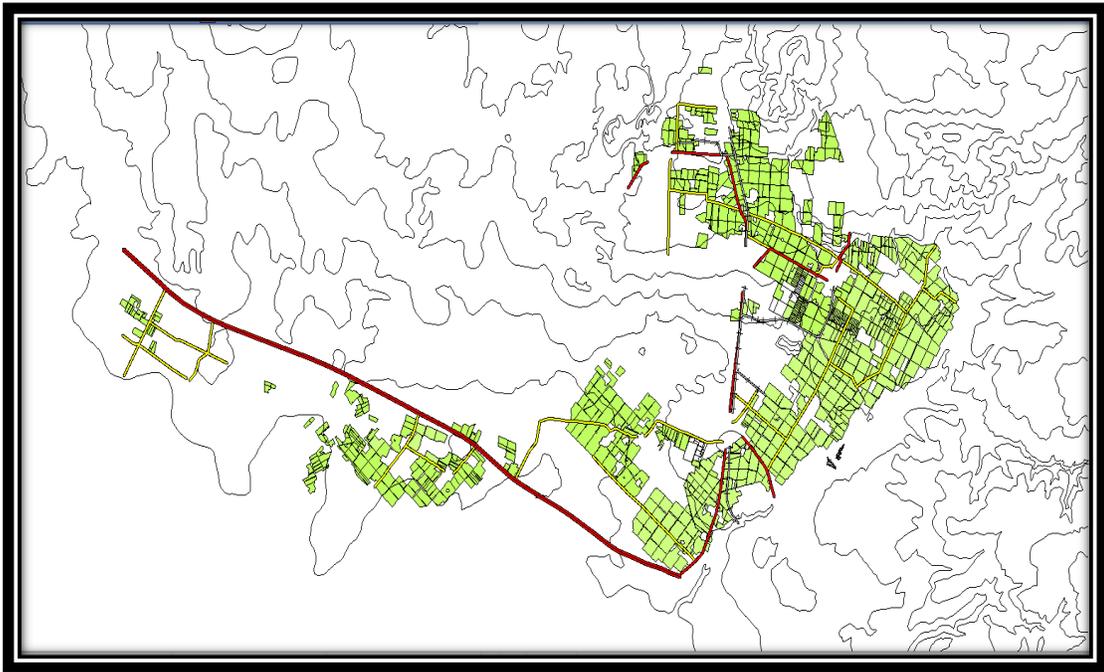
Anexo 4

Características de la bomba

Bomba Horizontal 49 l/s @ 75 m.c.a.	
Bomba horizontal PM-125 3/C a 1750 rpm. Motor eléctrico Siemens 65 Kw Panel eléctrico Cuñat 65 Kw.	€ 12.471,00
Bomba Horizontal 100 l/s @ 90 m.c.a.	€ 25.603,00
Bomba horizontal PM-150 3/C a 1750 rpm.	
Motor eléctrico Siemens 186 Kw	
Panel eléctrico Cuñat 186 Kw.	

Anexo 5

Curvas de nivel en la región de la UEB “Jesús Rabí”



Anexo 6

Pivote para la aplicación de residuales



Anexo 7

Lagunas de residuales



Anexo 8

Tabla de tuberías equivalentes

... equivalentes de tuberías de distintos accesorios de acuerdo con la tabla 6.7, que dan las longitudes
... sistema.

Tabla 6.7
Longitudes equivalentes de tubería recta en metros, correspondientes a válvulas y accesorios de diferentes
diámetros (según Pérez Franco, 1986)

Diámetro, mm	Codo 90°, m	Te, m	Válvula cuña abierta, m	Válvula globo abierta, m	Válvula Check abierta, m
127	0,5	1,0	0,1	4,9	1,1
152,4	0,7	1,4	0,1	6,7	1,5
203,2	0,8	1,8	0,2	8,2	2,0
254,0	1,1	2,4	0,2	11,3	2,5
304,8	1,3	2,7	0,3	13,4	3,0
355,6	1,7	3,4	0,4	17,4	3,9
406,4	1,9	4,3	0,4	20,1	5,2
457,2	2,5	5,2	0,5	25,9	6,1
508,0	2,9	5,7	0,6	30,2	7,0
558,8	3,4	6,7	0,7	33,5	8,2
609,6	3,7	7,3	0,8	39,6	9,1
660,4	4,3	8,2	0,9	42,7	10,1
711,2	4,9	10,1	1,1	48,8	12,2
762,0	6,4	13,1	1,4	67,1	16,2
812,8	7,9	17,1	1,7	88,4	20,4
863,6	9,8	20,1	2,0	103,6	24,4
914,4	10,9	23,2	2,4	118,9	28,4

245