



TÍTULO

**MODELO DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
MEDIANA ENTIDAD
APLICACIÓN A LA PLANTA “RESIDENCIAL LOS GERANIOS”. LA
UNIÓN, COSTA RICA**

AUTOR

Ariel Hidalgo Solano

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2013

Director	Rafael Lucas Ruiz
Tutor	Isidoro Lillo
Curso	Máster Propio en Energías Renovables: Arquitectura y Urbanismo. La ciudad sostenible
ISBN	978-84-7993-881-9
©	Ariel Hidalgo Solano
©	Universidad Internacional de Andalucía (para esta edición)



Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
 - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
 - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
-
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
 - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
 - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA
SEDE IBEROAMERICANA SANTA MARÍA DE LA RÁBIDA
XII MASTER PROPIO EN ENERGÍAS RENOVABLES:
ARQUITECTURA Y URBANISMO SOSTENIBLE
2011-2012



TÍTULO DE TESIS

**MODELO DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MEDIANA
ENTIDAD. APLICACIÓN A LA PLANTA "RESIDENCIAL LOS
GERANIOS". LA UNION, COSTA RICA.**

AUTOR

Arq. ARIEL HIDALGO SOLANO

DIRECTOR

Dr. RAFAEL LUCAS RUIZ

TUTOR

Dr. ISIDORO LILLO

LA UNIÓN, COSTA RICA

AGOSTO 2012

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañando en los diferentes momentos de elaboración de esta investigación.

Agradezco al Dr. Rafael Lucas por haber confiado en mi persona, por el apoyo, por la paciencia y por la dirección de este trabajo. Al Dr. Isidoro Lillo por los consejos y comentarios en el proceso.

Agradecer tanto a la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) por la beca de estudios otorgada, así como también, al Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT) por el financiamiento brindado para esta tesis.

Gracias también a mis compañeros, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante este tiempo de convivir dentro y fuera del salón de clase. Gracias a todos.

A mi madre Olga Marta, mi padre Tobías, a mi hermano Fabricio y mi sobrina Daniela, que me acompañaron en esta aventura que significó la maestría y que, de forma incondicional, a pesar de la distancia siempre estuvieron atentos para saber cómo me sentía.

A ti Laura, que desde un principio hasta el día de hoy sigues dándome ánimo para con este proyecto y para con muchos otros más, gracias por todo este sacrificio y amor incondicional.

Gracias a todos

INDICE

1. INTRODUCCION

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Planteamiento de la problemática
- 1.3. Objetivos de la investigación
- 1.4. Justificación

2. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. Fase 1 – Descripción del entorno

- 3.1.1. Ubicación geográfica y Topografía
- 3.1.2. Climatología e Hidrología
- 3.1.3. Acueductos, Saneamiento y Gestión de residuos
- 3.1.4. Legislación y vinculación institucional
- 3.1.5. Descripción del sistema de depuración
- 3.1.6. Administración de la planta de tratamiento
- 3.1.7. Consumo energético actual

3.2. Fase 2 – Análisis de los posibles sistemas a implementar

- 3.2.1. Panorama actual de las energías renovables en Costa Rica
- 3.2.2. Implementación de sistemas de abastecimiento energético**
- 3.2.3. Energía hidroeléctrica a pequeña escala**
 - 3.2.3.1. Aspectos técnicos
 - 3.2.3.2. Aspectos ambientales
- 3.2.4. Energía solar fotovoltaica**
 - 3.2.4.1 Aspectos técnicos
 - 3.2.4.2 Aspectos ambientales
- 3.2.5. Energía abastecidas por sistemas mixtos**
- 3.2.6. Implementación de sistemas de depuración**

3.2.7. Procesos de Oxidación Avanzada (AOPs)

3.2.7.1 Aspectos técnicos

3.2.7.2 Aplicaciones

3.2.8. Filtros con zeolita

3.2.8.1. Aspectos técnicos

3.2.8.2. Aplicaciones

3.3. Fase 3 – Selección del sistema de abastecimiento energético y / o de depuración a implementar

3.3.1. Posibles propuestas

3.3.1.a. Sistema fotovoltaico

3.3.1.b. Sistema Fotovoltaico con mini hidroeléctrico y filtro de zeolitas

3.3.1.c. Foto reactores (CPCs) con TiO₂ y sistema fotovoltaico

3.3.1.d. Captadores solares planos con TiO₂ y sistema fotovoltaico

3.3.2. Ventajas e inconvenientes

3.3.2.a. Sistema fotovoltaico

3.3.2.b. Sistema Fotovoltaico con mini hidroeléctrico y filtro de zeolitas

3.3.2.c. Foto reactores (CPCs) con TiO₂ y sistema fotovoltaico

3.3.2.d. Captadores solares planos con TiO₂ y sistema fotovoltaico

3.3.3. Justificación y recomendaciones

3.4. Fase 4 – Propuesta de intervención

3.4.1. Proyecto de intervención

3.4.2. Análisis financiero

3.4.2.1. Costos de la inversión

3.4.2.2. Retorno de la inversión

3.4.3. Estudio de viabilidad

3.4.3.1. Análisis comparativo de los costos versus retornos

3.4.3.2. Análisis del periodo de amortización

4. CONCLUSIONES

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

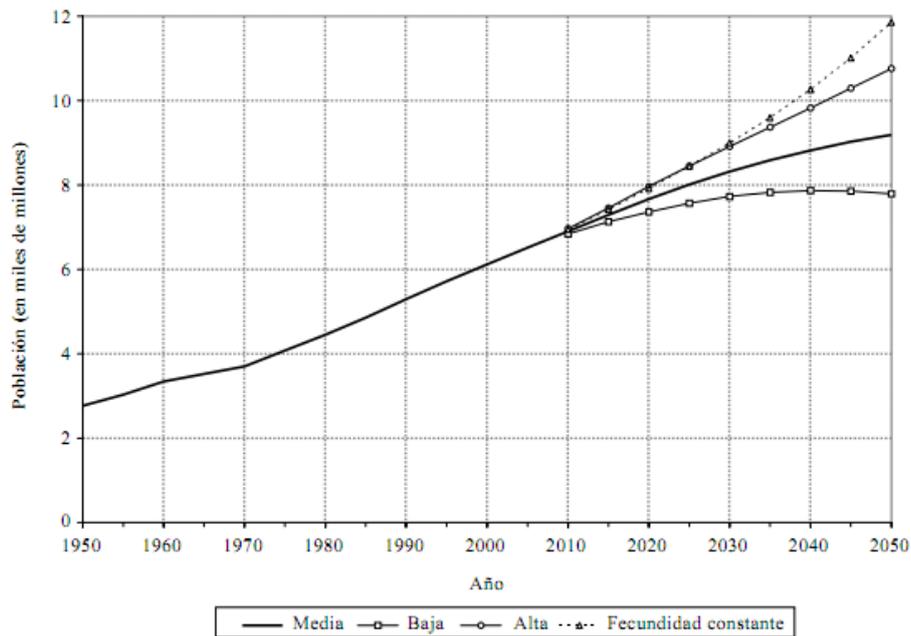
Es evidente que el rápido crecimiento demográfico, para este momento de la historia del ser humano, está generando cambios circunstanciales en el medio ambiente. Esto ligado a la utilización de recursos tanto naturales como energéticos, genera una disminución del potencial de estos para las generaciones futuras, al mismo tiempo está causando diversos fenómenos como el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono, la aparición de la lluvia ácida, la deforestación, la pérdida de biodiversidad, entre otros, los cuales son consecuencia del modelo de desarrollo económico actual.

Según los científicos expertos en cambio climático de la ONU (IPCC) (Balsells, 2011), “el aumento de cerca de un grado centígrado de la temperatura media en el último medio siglo puede vincularse con una certeza de entre el 90% y el 100% a la actividad humana que favorece el calentamiento global”, afectando de forma quizá irreversible a la atmósfera, encaminada a romper todos los equilibrios climáticos con sus catastróficos resultados, hace que parezca imprescindible tomar las medidas adecuadas destinadas a reducir nuestra balanza en el consumo de energía a partir de combustibles fósiles.

El deterioro del medio ambiente y particularmente los cambios en el clima de la tierra, obligan al conjunto de la sociedad y a todos los sectores productivos y económicos que lo provocan a una reorientación de las pautas de producción y consumo.

Según el gráfico siguiente, la población del mundo se duplico en 50 años, llegando a poco más de seis millones de habitantes en el año 2000, y según las proyecciones para el 2050 es que haya un aumento de al menos un 30%. Lo cual es bastante alarmante si lo contrastamos con la realidad de que los recursos no son inagotables como antes solíamos creer.

Gráfico N.1 de la población mundial de 1950 a 2050, por variación de proyección



Fuente: División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas (2007, p.7)

Algunos estudios determinan el impacto de la actividad humana en las diferentes latitudes del mundo; esto permitiendo señalar a los países que necesitan reforzar sus políticas ambientales. En la imagen siguiente se muestran las toneladas del CO₂ que produce por habitante en países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Nueva Zelanda que tienen las huellas de carbono más grandes.

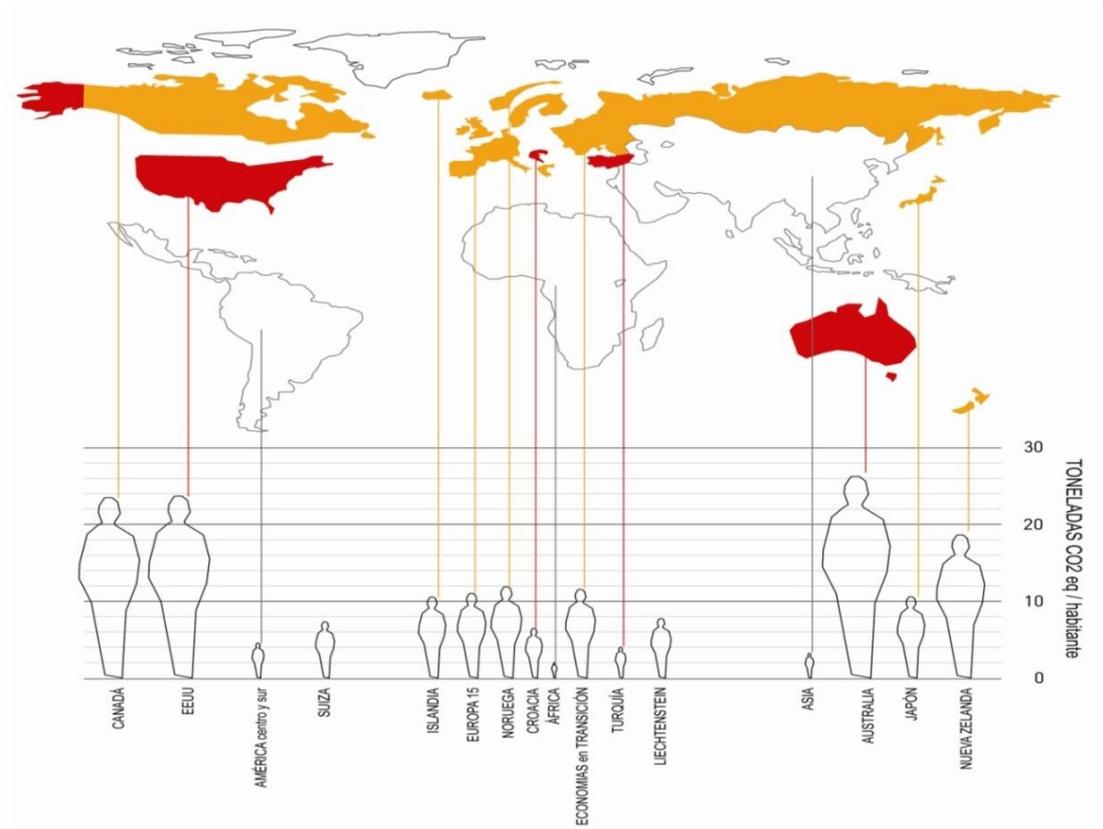


Imagen N.1. Fuente: Cuchí, A.(Comp.) (2011).

Conscientes del impacto que generan las actividades humanas en el medio ambiente, se ha hecho necesario para los gobiernos, adoptar políticas que tengan en cuenta la sostenibilidad en cuanto al desarrollo, parte de ese compromiso se evidencia en el principio 3º de la Declaración de Río (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo, 1992): *“El derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras”*.

En el mundo la necesidad de producir energía por medio de fuentes renovables es un tema de gran urgencia, debido a la situación que se está presentando a nivel mundial por la dependencia a los combustibles fósiles y los problemas asociados al mismo, mencionando entre otros la contaminación atmosférica, el desabastecimiento y los conflictos políticos.

“ ...la solución pasa por el desarrollo de las energías renovables que ya aportan el 14% del consumo mundial, y que a medio y largo plazo

podrán cubrir todas las necesidades energéticas, sin agravar el cambio climático, pues en todos los lugares hay suficiente sol y viento, y el hidrógeno será la principal forma de almacenamiento y el vector energético...” (Santamarta, 2008)

La consideración de los aspectos medioambientales debe formar parte de las decisiones que adopten los promotores sean estos grandes empresas o particulares, los profesionales: arquitectos e ingenieros, los fabricantes de materiales o equipos, los constructores, los propietarios o usuarios de la vivienda o edificación.

La construcción de los edificios genera unos impactos ambientales que incluyen la utilización de materiales que provienen de recursos naturales, la utilización de grandes cantidades de energía tanto en lo que atiende a su construcción como a lo largo de su vida y el impacto ocasionado en el emplazamiento. El material fuertemente manipulado y que ha sufrido un proceso de fabricación utilizado en el campo de la construcción tiene unos efectos medioambientales muy importantes, con un contenido muy intensivo en energía. Estos datos nos hablan de un sector profundamente impactante sobre el medio económico, ecológico y social, en definitiva un sector **INSOSTENIBLE**.

Aunque Costa Rica goza de una imagen “verde” ante el resto de los países del mundo, es importante tomar en cuenta los datos de algunos estudios demuestran que no nos podemos “dormir en los laureles” y que estamos en camino de perder la credibilidad y los recursos por exceso de confianza.

A pesar de que en la mayor parte de la energía que se genera en el país proviene de fuentes hidroeléctricas lo cierto es que cada vez más el país depende del búnker y el diesel para producir electricidad “creciendo en un 24% en el 2011, con respecto al 2010. Pasó de 706.529 MW/h a 930.970 MW/h... Su mayor producción usualmente se da en el primer semestre del año cuando bajan los caudales que nutren las plantas hídras.”(Agüero, 2012, p. 4A)

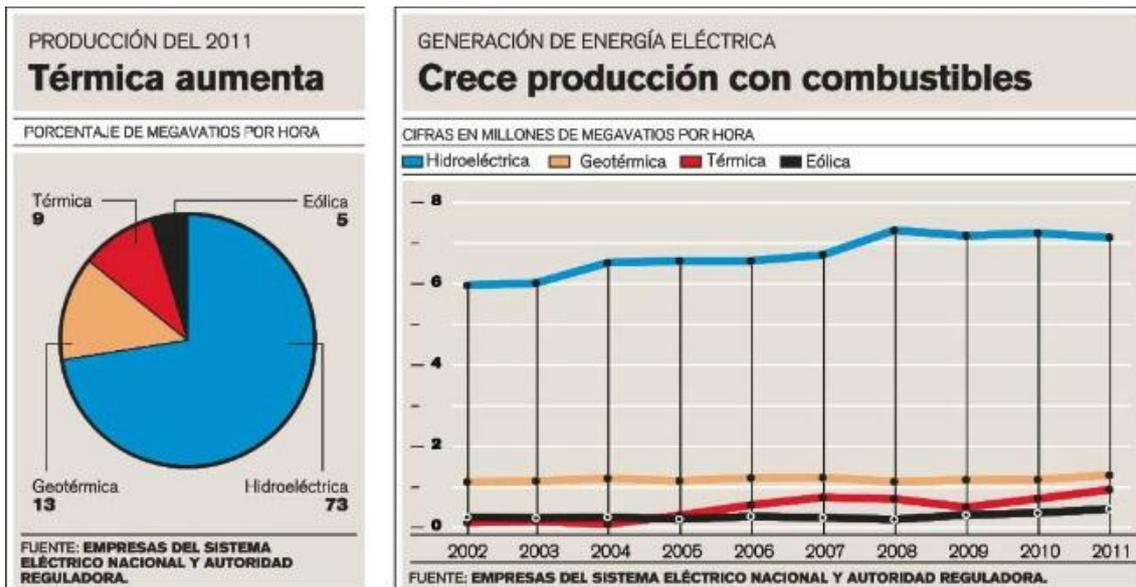


Grafico N.2. Fuente: Periódico LA Nación, Agüero, 24 de febrero del 2012. p.4A

En referencia a una entrevista realizada a uno de los investigadores del Estado de la Nación, que habla sobre la huella ecológica de los costarricenses. Según una entrevista realizada por el periódico La Nación, “...hemos hecho grandes avances, pero aún tenemos retos, como tratar las aguas antes de tirarlas a los ríos y medir la capacidad hídrica del país” (Merino, 2012)

1.2. Planteamiento de la problemática

Pregunta

¿Cuáles de los sistemas que incorporan energías renovables producen menor impacto y menor consumo energético al ser implementados a una planta de tratamiento de aguas residuales que opera actualmente en latitudes tropicales?

Hipótesis

Las energías renovables a nivel nacional han demostrado ser una fuente que pueden reducir costos energéticos y minimizar el impacto ambiental.

1.3. Objetivos de investigación

Objetivo general

Diseñar un sistema que ayude a reducir los costos energéticos y medioambientales al implementar un sistema que incorpora energías renovables como parte del abastecimiento energético de una planta de tratamiento de aguas residuales que opera actualmente en latitudes tropicales

Objetivos específicos

1. Determinar la situación y estado actual de la planta de tratamiento, en cuanto a tipo de planta consumo energético, depuración del agua, tipo de planta, costos de operación y medidas alternativas de ahorro energético.
2. Identificar las opciones disponibles en el mercado de los sistemas de abastecimiento energético con fuentes renovables para una planta de tratamiento en funcionamiento.
3. Realizar un análisis comparativo de las opciones encontradas versus la actual, tanto a nivel de eficiencia energética, económico y ambiental.
4. Identificar las oportunidades y barreras con que cuenta cada uno de los sistemas de abastecimiento energéticos.

1.4. Justificación

Actualmente en el cantón de la Unión se cuenta con 4 plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales se encuentran en áreas residenciales, las mismas fueron construidas por los desarrolladores de cada urbanización y posteriormente entregadas a la Municipalidad de La Unión,

quiénes durante un tiempo las han administrado y han asumido los gastos de operación y mantenimiento, como lo son el recibo eléctrico, recurso humano capacitado, materiales, equipos, transporte, entre otros.

Actualmente la Municipalidad de la Unión, está gestionando el traslado de la responsabilidad económica a los usuarios de las plantas de tratamiento, lo cual va a generar un impacto económico en las familias de nivel socioeconómico bajo, quiénes en su mayoría adquirieron el lote y construyeron su vivienda por medio de un crédito, el cual están pagando actualmente. Ante la noticia del cobro por el mantenimiento de la planta de tratamiento los vecinos del residencial se mostraron sorprendidos dado que la mayoría desconocía la situación de la misma, esto a que sólo se les comunicó los beneficios y no la responsabilidad, como se muestra en el anuncio de venta *“...Planta de tratamiento de aguas residuales, que le permiten hacer un mejor aprovechamiento de su lote y ser amigable con la naturaleza: evitando contaminación y gastos innecesarios en limpieza de tanques sépticos.”*.

Este proyecto se fundamenta en la necesidad de crear un sistema que se logre incorporar al tratamiento de aguas residuales, el cual no sólo sea ambientalmente viable, sino también económicamente factibles para que puedan ser implementados en más comunidades y tratados de incorporar en las normativas relacionadas al tratamiento de las aguas. Lo que se propone con éste proyecto es plantear una propuesta que incorpore un sistema de autoabastecimiento de energía renovable e independiente de la red eléctrica.

2. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

La finalidad principal del proyecto es proponer un sistema de abastecimiento energético renovable y eficiente para la planta de tratamiento de aguas residuales que está en funcionamiento en el residencial Los Geranios, buscando reducir los costos de operación y generando un menor impacto en el medio ambiente.

El trabajo de campo se va a realizar en diferentes fases, con el objetivo de que cada una de las fases nos brinden el fundamento para la siguiente, siendo en total 4 fases:

Fase 1 – Descripción del entorno

Mediante una investigación de fuentes, de manera descriptiva, se recopila información referente al entorno en el que se desarrolla este proyecto.

Fase 2 – Análisis de los diferentes sistemas a implementar

Búsqueda y análisis de información de los diferentes sistemas que utilizan energías renovables y reuniones con funcionarios municipales y encargado del mantenimiento de la planta de tratamiento y con representantes de empresas relacionadas al tema de las energías limpias.

Fase 3 – Selección del sistema energético

De todas las fuentes de energías renovables disponibles, en esta fase se espera contar con criterio técnico, como para escoger las que más se ajustan a las características y necesidades del proyecto. Importante señalar que pueden haber varias propuestas en las cuales hay que analizar sus ventajas e inconvenientes.

Fase 4 – Propuesta de Intervención

En esta fase es donde el investigador según el análisis que ha realizado mediante las etapas anteriores y con todo el conocimiento adquirido y las reflexiones realizadas, propone un sistema de abastecimiento energético que pueda adaptarse a la planta de tratamiento, siendo este tanto económica, como ambientalmente el más factible.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. Fase 1 Análisis del entorno

En esta primera fase, se detallaran datos relevantes - como lo es la ubicación geográfica, contexto histórico, climatología, hidrología y legislación – que serán referentes importantes a la hora de realizar el planteamiento de la propuesta del sistema de abastecimiento energético alternativo.

3.1.1. Ubicación geográfica y Topografía

Para el tema de estudio nos ubicaremos geográficamente en Los Cerros de La Carpintera entre las coordenadas geográficas 9° 54' N y 83° 57' O América Central, Costa Rica, en la Provincia de Cartago, Cantón de la Unión y Distrito de San Rafael.

Centroamérica

Ubicada en el continente Americano, y consta de 7 países: Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá y Costa Rica.



Imagen N.2. Fuente:

http://www.edigol.com/cont/catalogo/catalogo_sola_cas.php?idField=34&seccio

PRINCIPALES INDICADORES

Capital.....	San José
Superficie total.....	51,100 km ²
Población total.....	4.64 millones (2010)
División territorial.....	7 provincias, 81 cantones
Línea costera.....	1,290 km (Océano Pacífico y Atlántico)
Moneda.....	Colón (1 US\$ = 520.68 ¢ al 2010 prom. anual compra)
PIB per cápita.....	US\$ 7,717.1 (2010)
Calificación de riesgo país.....	55.1 (Septiembre de 2010 - Institutional Investors)
Analfabetismo.....	3.8 %

ÍNDICES:

Desarrollo Humano.....	0.725 (posición 62 entre 169 países)
Competitividad.....	4.3 (posición 56 entre 139 países)
Derechos Políticos.....	1 (1= libre, 7= no libre)
Libertades Civiles.....	1 (1= libre, 7= no libre)



Tabla N. 1. Fuente: Análisis comparativo del marco regulatorio, incentivos y sistema tarifario y precios existentes, para la compra de electricidad de plantas de energía renovable en Centroamérica y Panamá, proyecto ARECA

Costa Rica

Se encuentra ubicado al norte con Nicaragua, al sur con Panamá, al este con el Mar Caribe y al Oeste con el Océano Pacífico.

El territorio nacional se divide en 7 provincias: San José, Alajuela, Heredia, Puntarenas, Limón, Guanacaste y Cartago.



Imagen N.3. Fuente:

http://www.mapasdecostarica.info/atlascantonal/atlas_cantonal.htm

Provincia de Cartago

Cuenta con ocho cantones: Turrialba, Oreamuno, Paraíso, Jiménez, Alvarado, Cartago, El Guarco y La Unión.

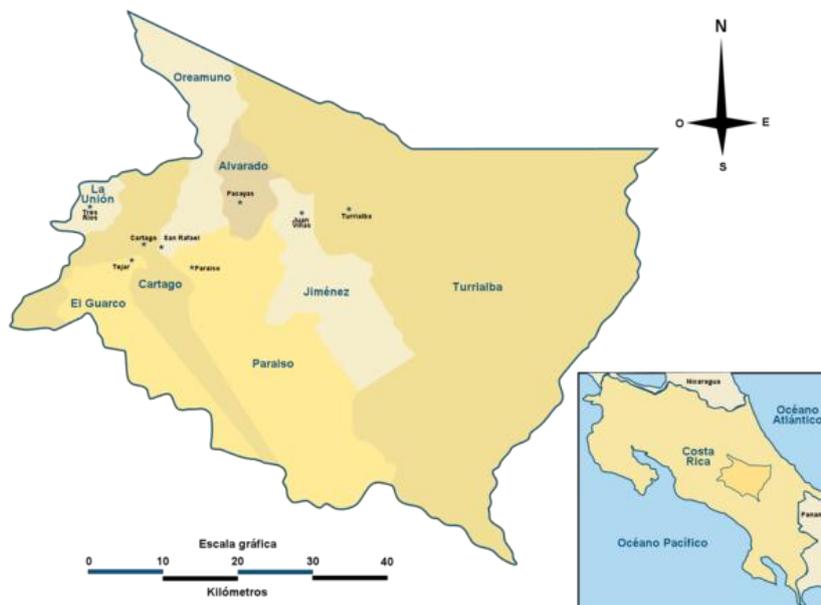


Imagen N.4. Fuente: <http://observatoriocartagines.webs.com/historia.htm>

Cantón de La Unión

El Cantón de La Unión forma parte de la Gran Área Metropolitana (GAM) del Valle Central de Costa Rica. Pertenece a la provincia de Cartago, a pesar de que funcional y geográficamente está más vinculado a San José que a Cartago.

Cuenta con una extensión de 44.18 kilómetros cuadrados, con una población de 108.586 habitantes

Limita al:

- Norte con Cantón de Montes de Oca
- Sur con Cantón de Desamparados
- Este con Cartago
- Oeste con Cantón de Curridabat

Distritos	Área (Km ²)
Tres Ríos	2,39
San Diego	8,75
San Juan	3,58
San Rafael	8,84
Concepción	3,68
Dulce Nombre	8,35
San Ramón	4,17
Río Azul	5,07

Tabla N.2. Fuente: Plan de Desarrollo Humano Local 2010-2020,
Cantón La Unión

Actualmente el cantón se compone de ocho distritos: Tres Ríos, San Diego, San Juan, Concepción, Dulce Nombre, San Ramón, Río Azul y San Rafael.

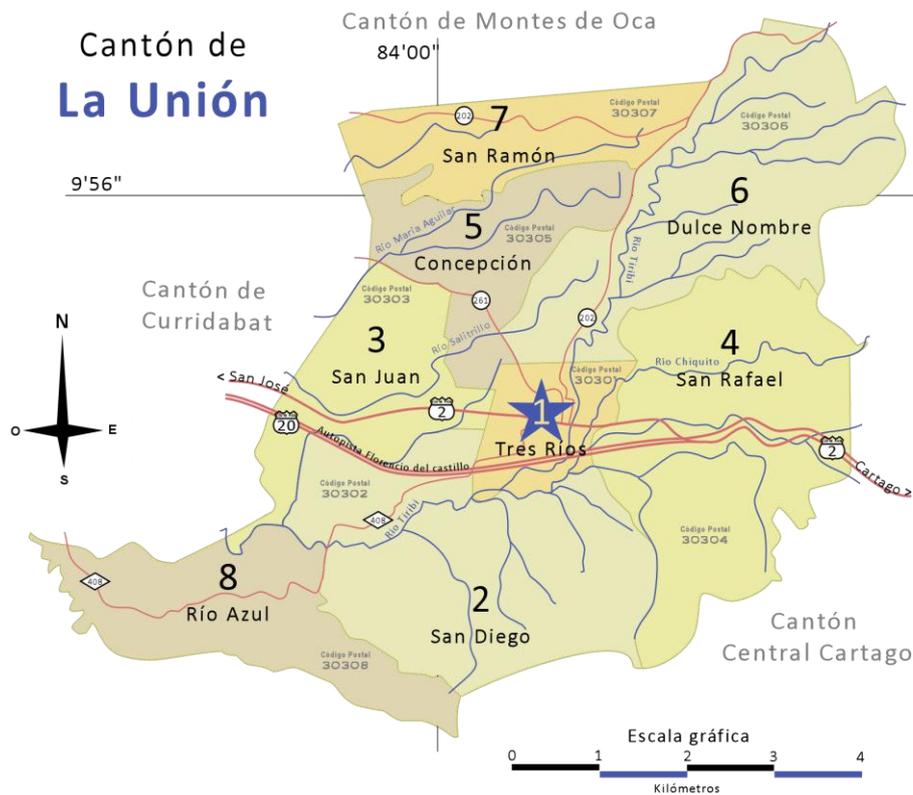


Imagen N.5. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:LaUnionMapa.png>

Ubicados en un extremo del Valle Central, **Los Cerros de La Carpintera** son atravesados por los ríos Tiribí, Chiquito y La Cruz. De este a oeste lo cruza la carretera Panamericana y la autopista Florencio del Castillo.

En La Carpintera nacen unas 30 quebradas, intermitentes y permanentes, entre las cuales se destacan Quebrada Fierro, Monte y Carpintera, y ríos como el río Chiquito y Bosque.

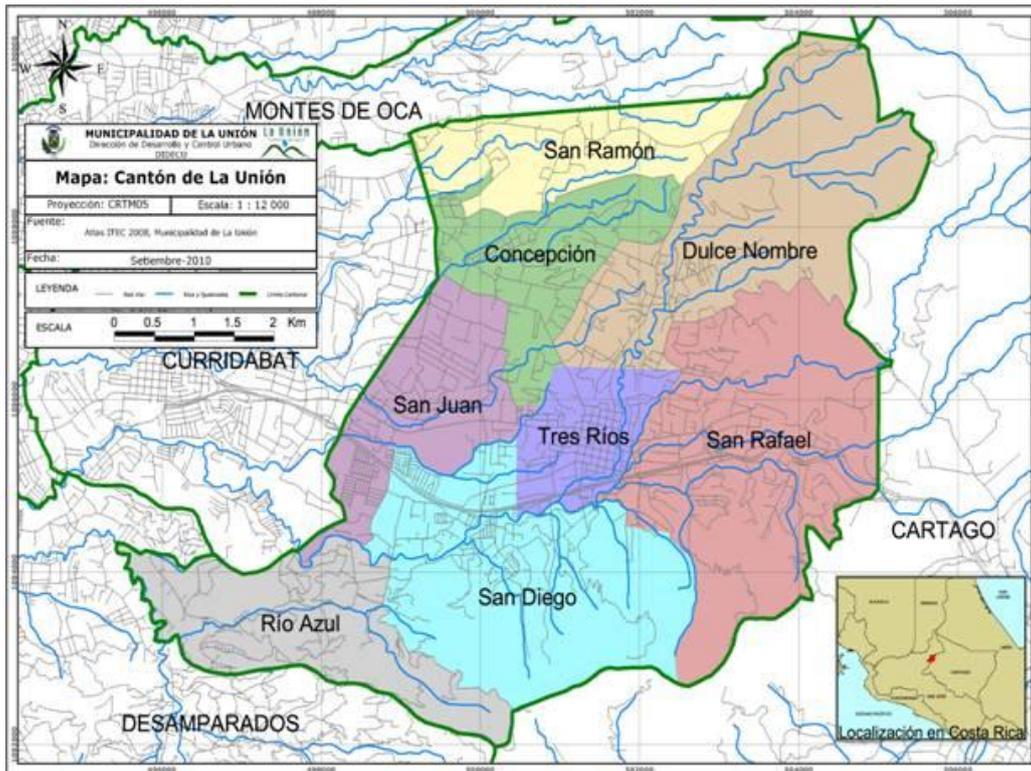


Imagen N.6. Fuente: http://www.munilaunion.go.cr/la_union/index.html
Plan regulador Municipalidad de La Unión, 2000

Distrito de San Rafael

El distrito de San Rafael se encuentra a 1.340 metros sobre el nivel del mar. Dentro del mismo se encuentran ubicados los cerros de La Carpintera, la cuál es una zona protegida y en la que habitan muchas especies de flora y fauna.

Residencial Los Geranios

Localizada en las faldas de la Zona Protegida de los Cerros de La Carpintera se encuentra el Residencial los Geranios, donde habitan los usuarios de la planta de tratamiento de aguas residuales en la que se va a llevar a cabo el estudio.

Dicho conjunto fue desarrollado a partir de fraccionamiento en fincas filiales de una finca madre cuya área en registro catastral se estima en 3ha7313.61 metros cuadrados, esta finca madre se dividió en 159 fincas filiales de aproximadamente 140 metros cuadrados cada una, actualmente cuenta con

un área comunal, 3 parques infantiles, una planta de tratamiento de aguas residuales, una caseta de control, calles adoquinadas y seguridad las 24 horas.

Colinda al:

- Sur con Residencias Vecinas
- Sureste con la escuela de San Vicente
- Norte y noroeste con Parque Santo del Este
- Este y noreste con la Quebrada Carpintera
- Oeste con Residencias Vecinas

En el plano siguiente, se observa la ubicación geográfica del Residencial los Geranios resaltada en sombreado.

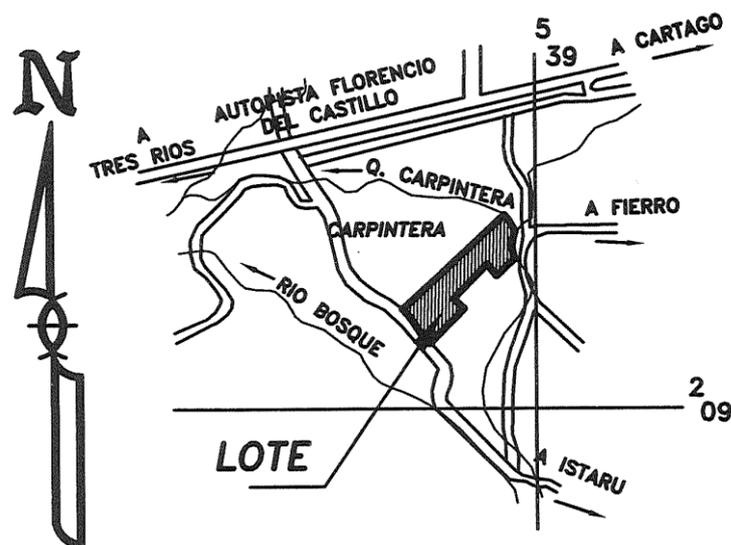


Imagen N.7. Fuente plano catastrado, hoja Iztaru

Y un plano más cercano, solamente del Residencial Los Geranios fraccionado en 9 bloques, con tres juegos infantiles, dos áreas comunales y un parque.

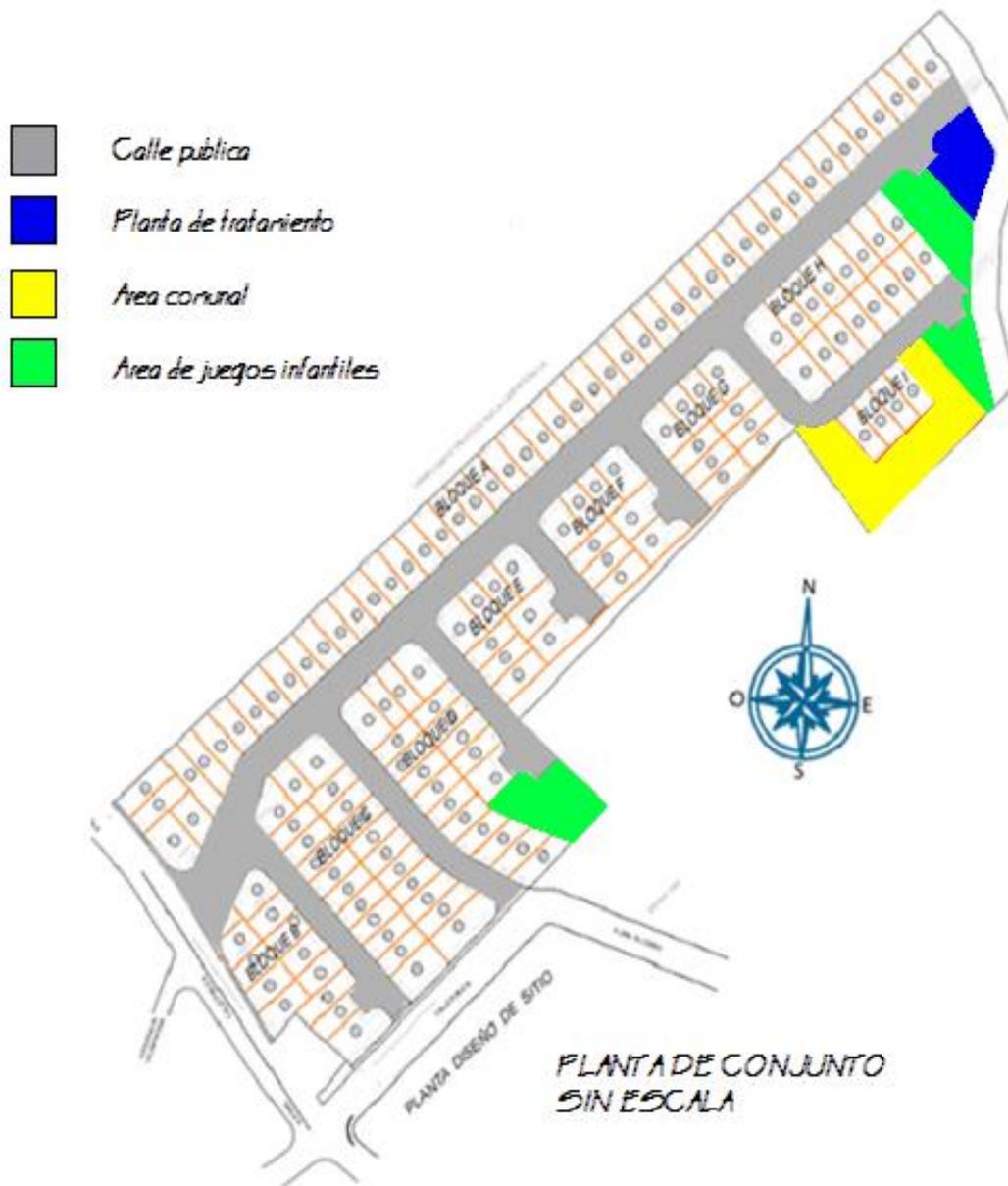


Imagen N.8. Planta de conjunto del residencial Los Geranios, con ubicación de propiedades, áreas comunes y planta de tratamiento.

Fuente: Mapa facilitado por vecinos del residencial.

Topografía

Se puede observar que el cantón de la Unión se encuentra ubicado en las faldas de los cerros de la Carpintera y el Volcán Irazú. Con una altitud promedio de 1.345 metros sobre el nivel del mar.

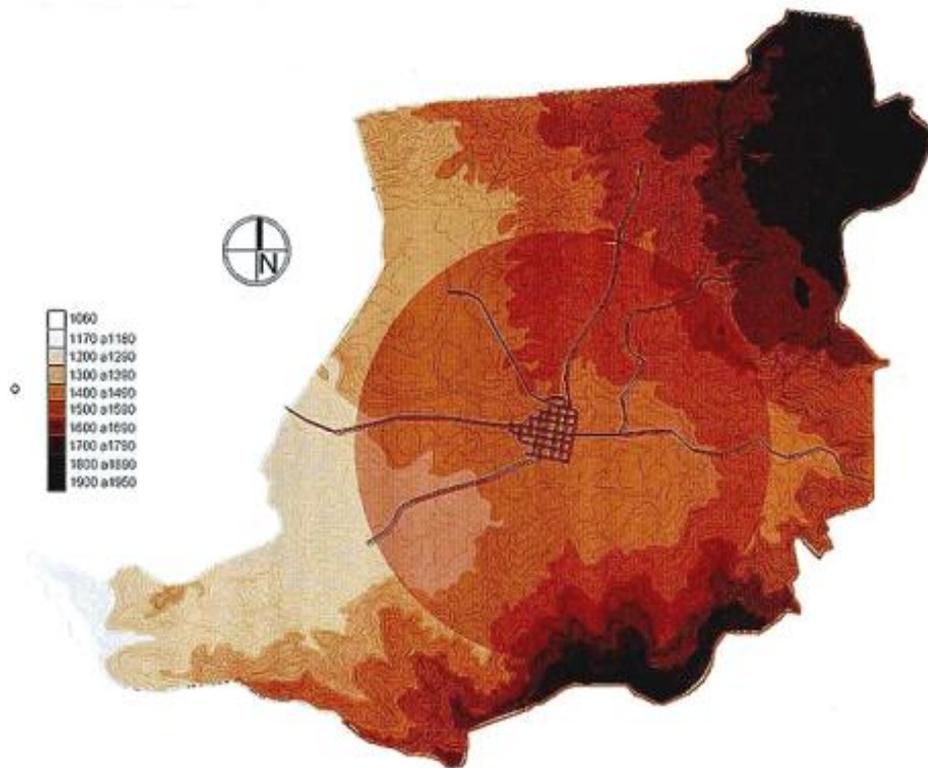


Imagen N.9. Fuente: Mapa facilitado por la Municipalidad de La Unión

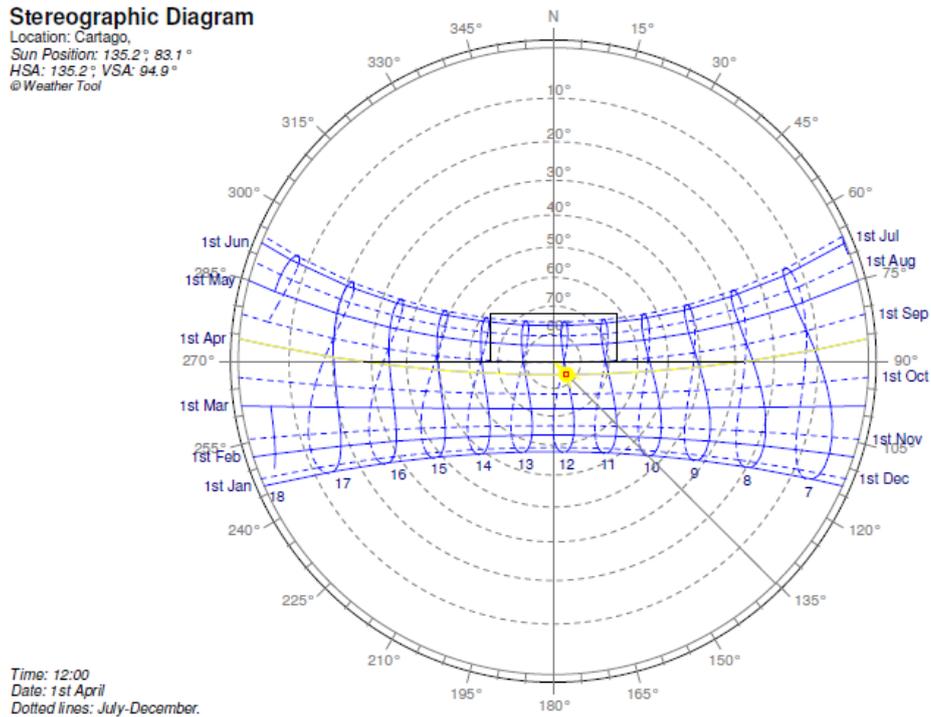
3.1.2. Climatología e Hidrología

Climatología

En la siguiente carta solar de la provincia de Cartago, podemos ubicarnos entre los trópicos de Cáncer y Capricornio a 10 grados de latitud norte con respecto al ecuador, tomado del programa Ecotec, wheater tool.

Stereographic Diagram

Location: Cartago,
Sun Position: 135.2°; 83.1°
HSA: 135.2°; VSA: 94.9°
© Weather Tool



En el diagrama N.1. Se observan los vientos alisios, que son los vientos predominantes del noreste, tomado del programa Ecotec, wheater tool.

Prevailing Winds

Wind Frequency (Hrs)
Location: Cartago, (9.0°, -3.9°)
Date: 1st January - 31st December
Time: 00:00 - 24:00
© Weather Tool

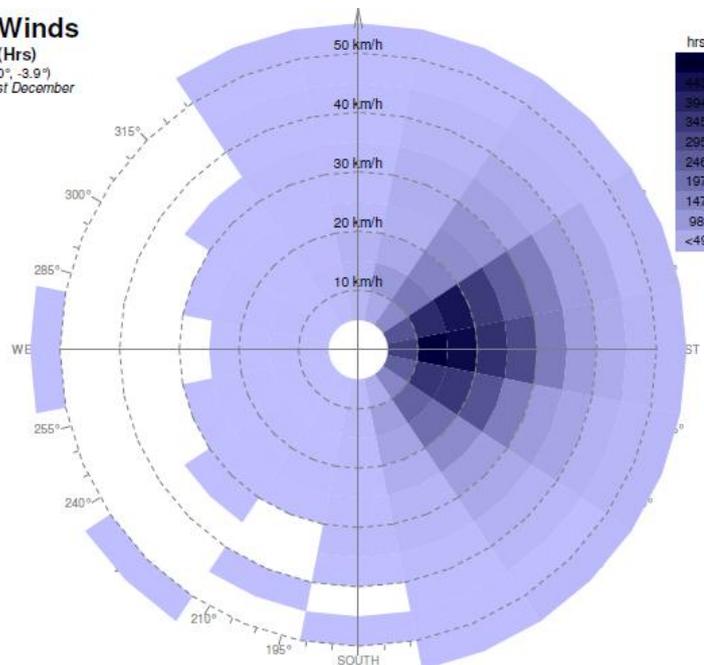
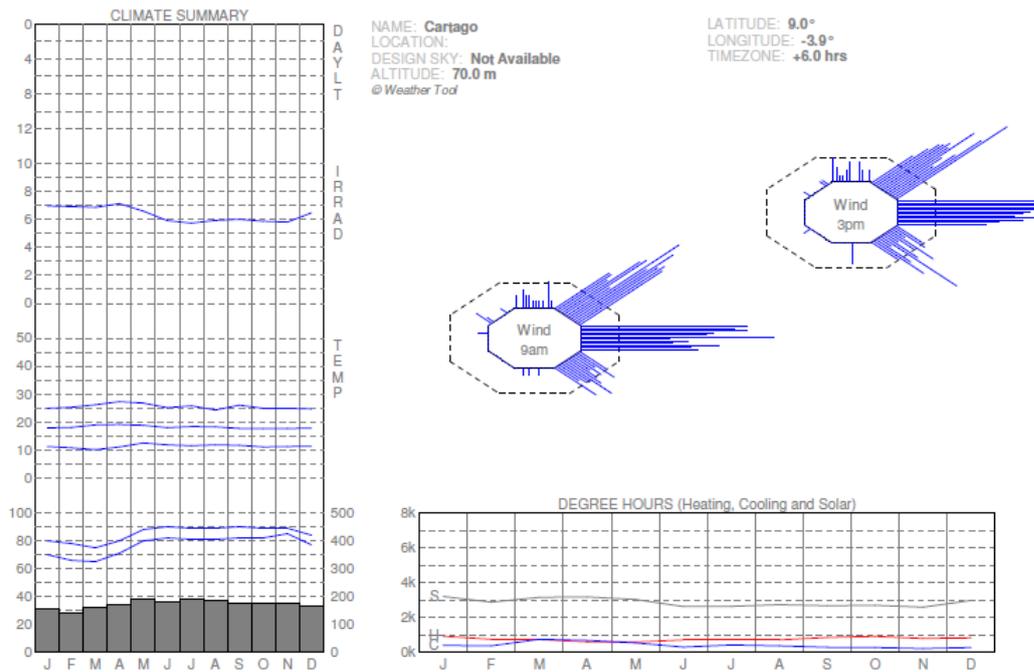


Diagrama N.2. Resumen climatológico de la provincia de Cartago, podemos observar datos de temperatura, humedad, precipitación, entre otros, tomados del programa Ecotec, wheater tool.



En el diagrama N.3. Se observa que el brillo solar en la ciudad de Cartago y cercanías del cantón de Tres Ríos, es de aproximadamente de 5 a 6 horas promedio en todo el año. Tomado del programa Ecotec, wheater tool.

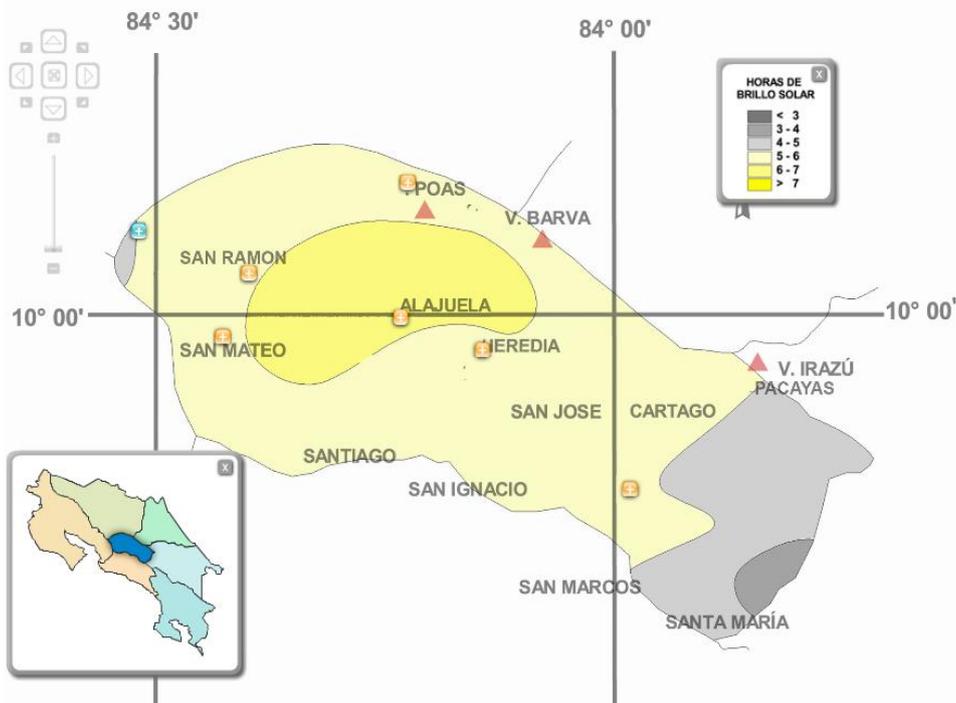


Imagen N.10. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

Vemos como aumenta la cantidad de horas de brillo solar, de 7 a 8 horas en el mes de marzo, que es el mes con más horas sol al día.

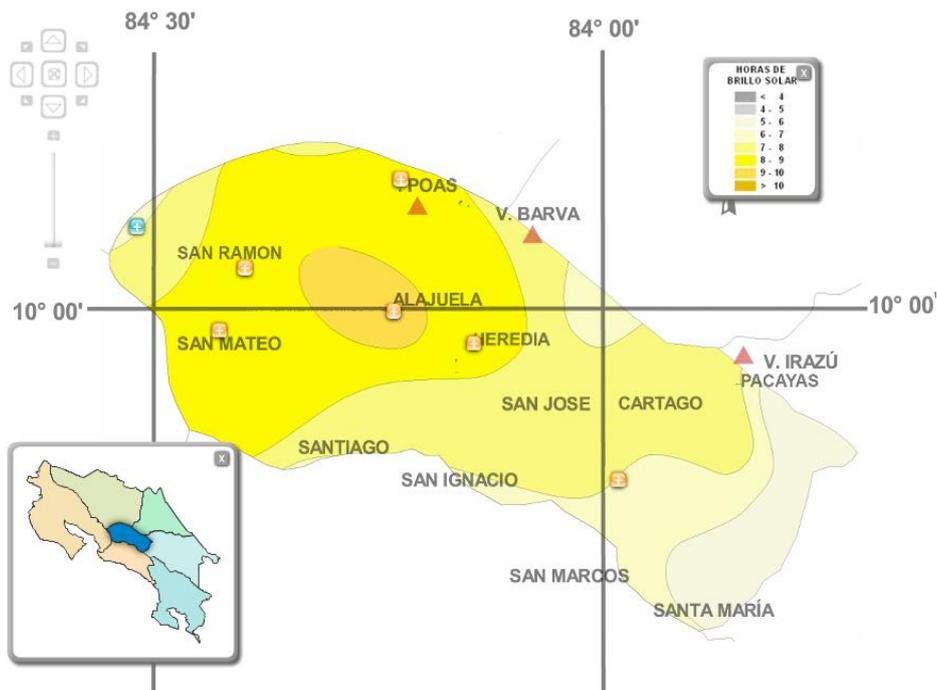


Imagen N.11. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

Y disminuyendo a 3 a 4 horas en el mes de junio que es el mes con menos horas de sol del año.

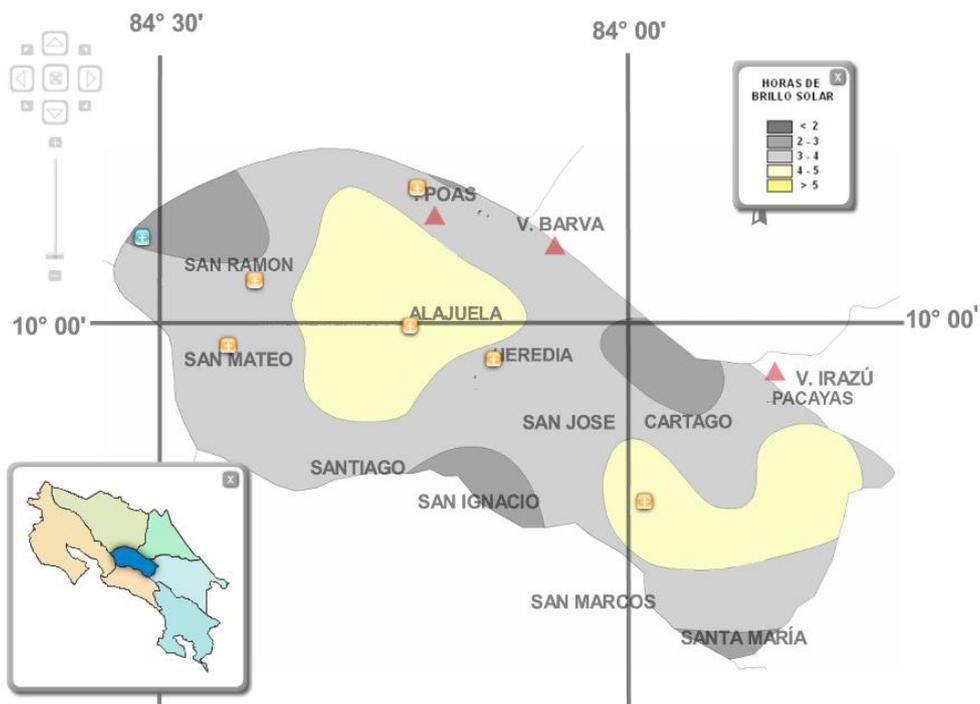


Imagen N.12. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

Manteniendo una temperatura máxima de 24 a 26 grados Celsius.

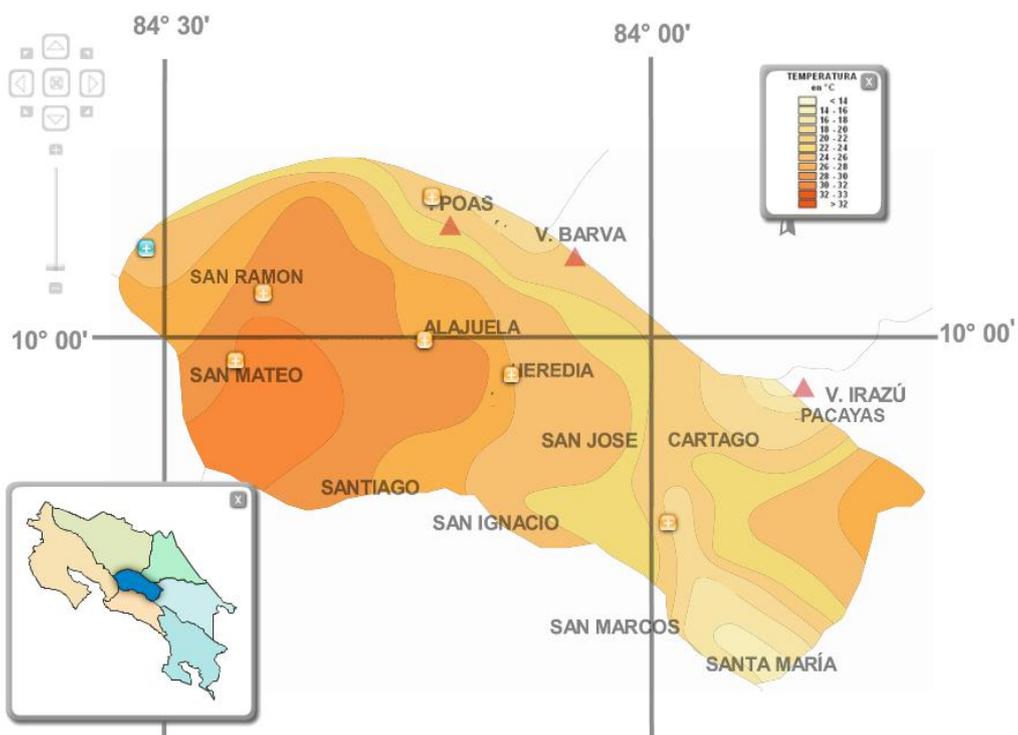


Imagen N.13. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

Y una temperatura media entre 18 y 20 grados Celsius

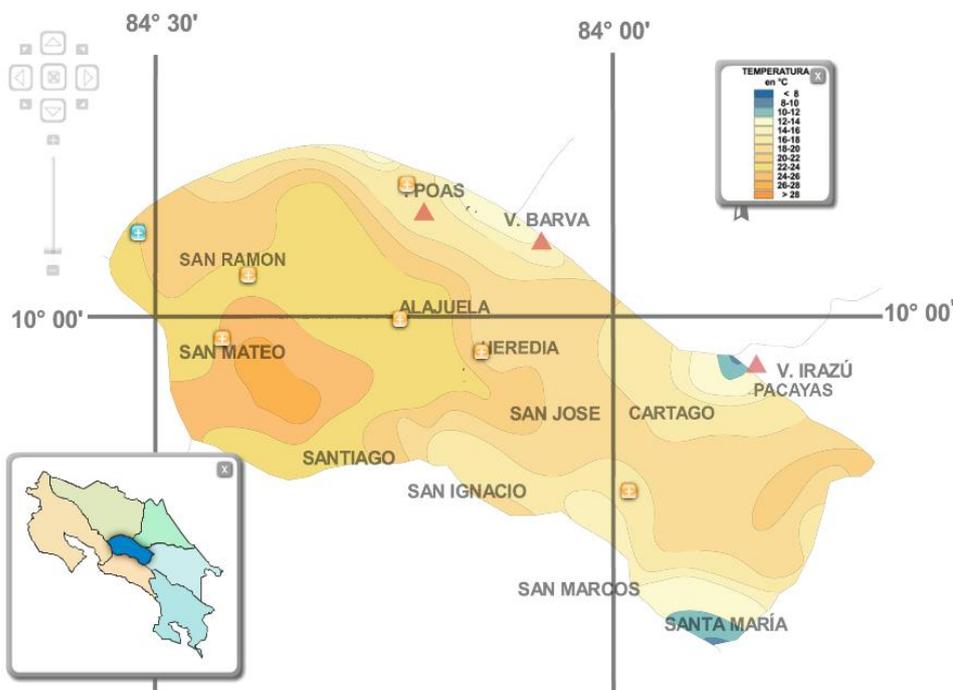


Imagen N.14. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

Con temperatura mínima entre 12 y 14 grados Celsius.

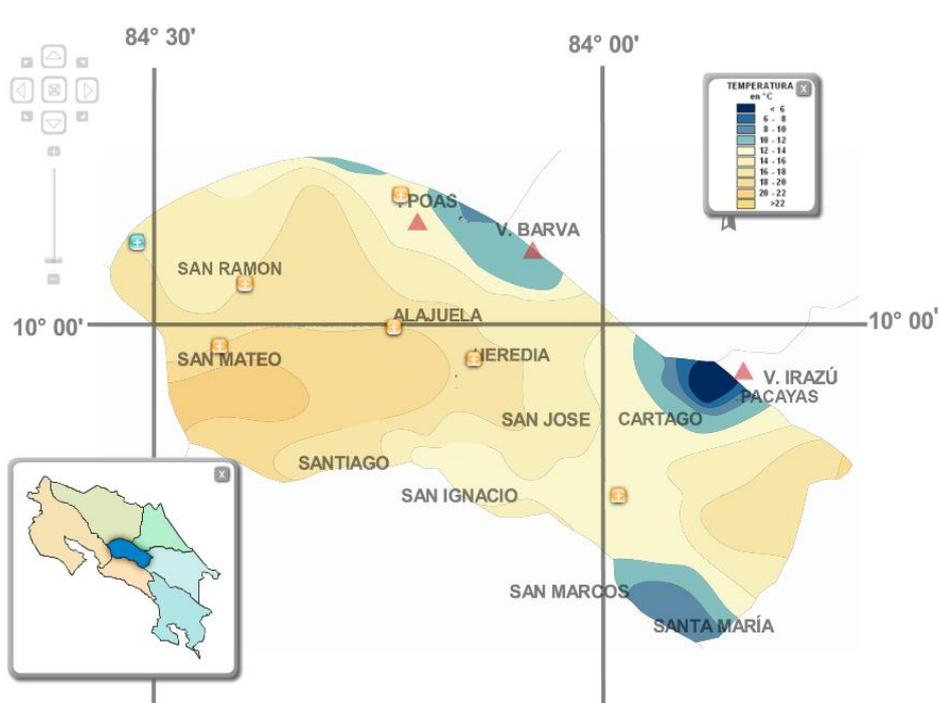


Imagen N.15. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

Con una precipitación promedio entre 1500 y 2000 milímetros cúbicos anuales.

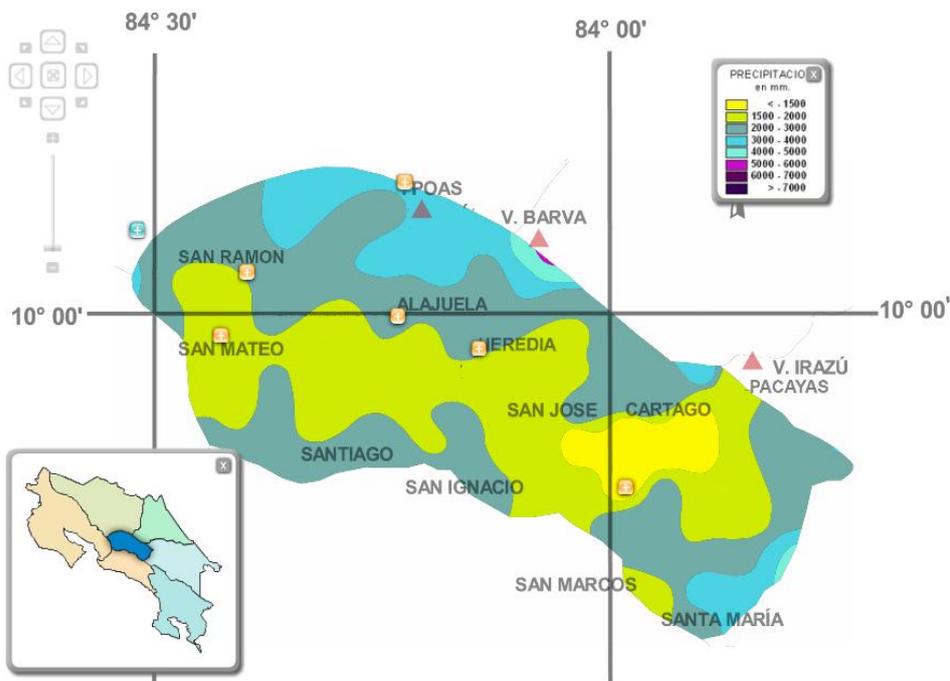


Imagen N.16. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

Con aproximadamente entre 100 y 150 de días con lluvia.

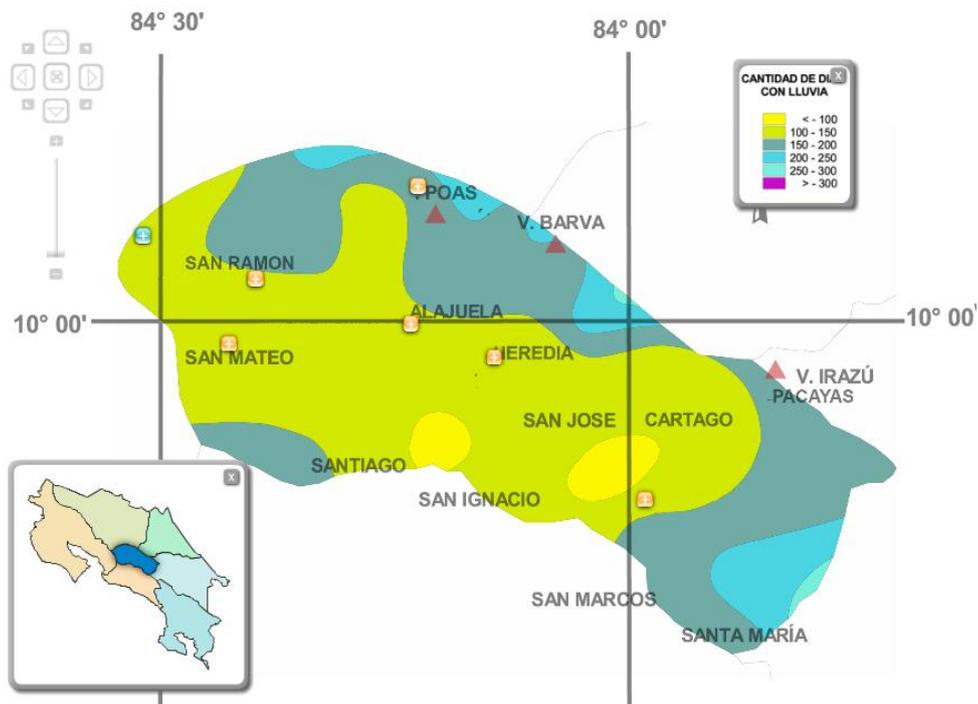


Imagen N.17. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

Y en evapo transpiración nos encontramos entre los rangos de 1100 hasta los 1200 milímetros cúbicos.

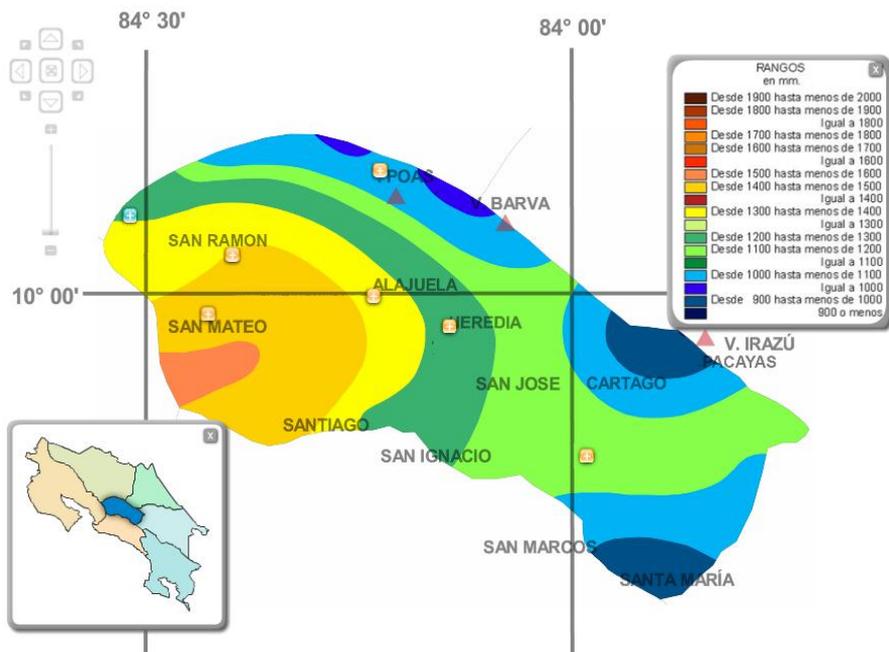


Imagen N.18. Fuente: ATLAS Instituto Meteorológico Nacional IMN, C.R

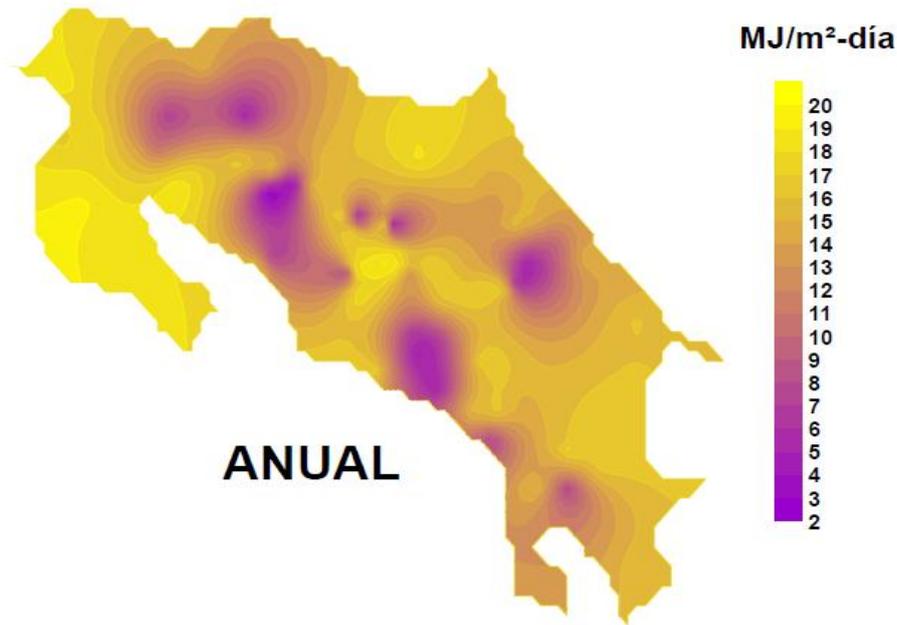


Imagen N.19. Radiación solar global diaria media anual.

Fuente: <http://www.una.ac.cr/redibec-cisda/ponencias/Energia/Jaime.pdf>

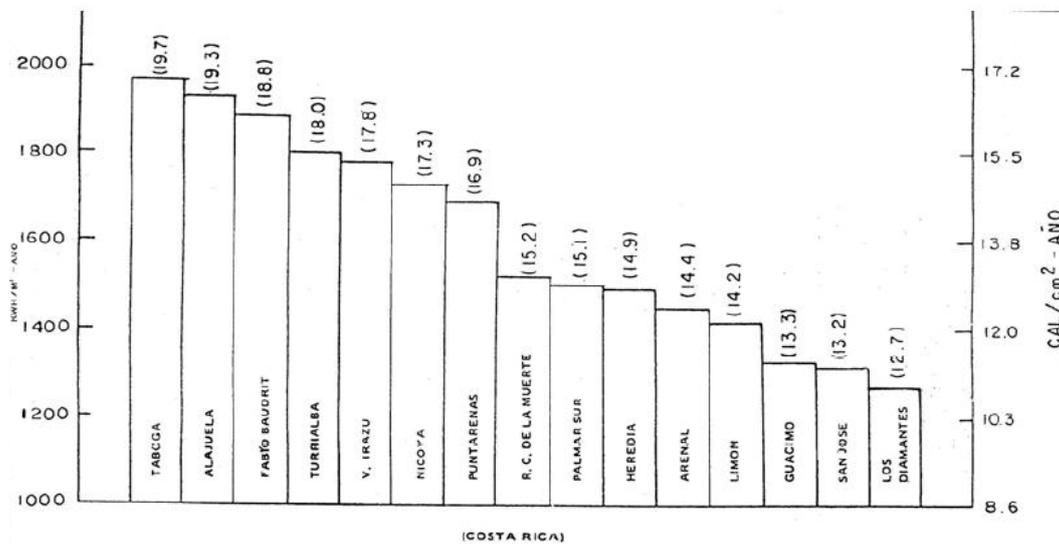


Grafico N.3. Radiación solar en KWh/m²-año

Fuente: S. Nandwani, Energía solar, conceptos básicos y su utilización. 2005

La radiación solar tiene una variación mensual. En el caso de Costa Rica en el orden de 25-30% (máximo) con respecto al valor promedio.

A continuación se detalla la intensidad de vientos para Costa Rica y en estación del CATIE, localizado en Turrialba

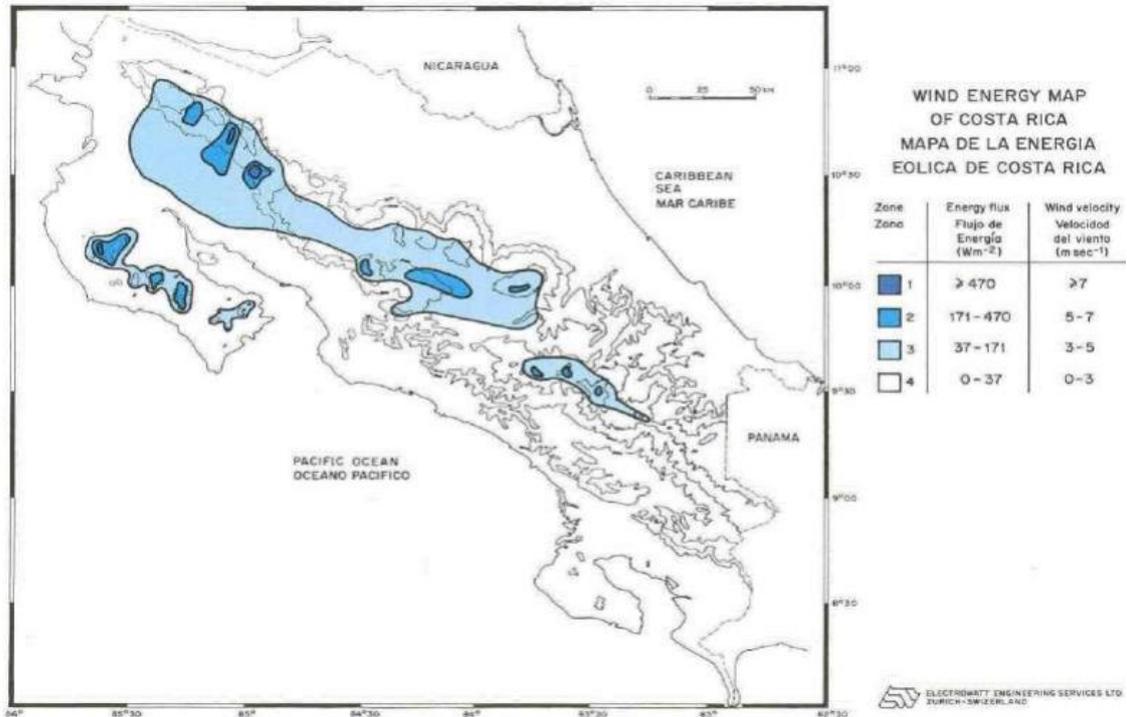


Imagen N.20. Mapa de vientos. Fuente: Electrowatt, Engineerien Services LTD

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA															
VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO MENSUAL (m/s)															
ESTACIÓN METEOROLÓGICA CATIE, TURRIALBA, COSTA RICA															
Nº	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM.	
1	1985	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	
2	1986	0.9	1.0	1.0	0.8	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	
3	1987	0.8	0.9	1.0	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.6	
4	1988	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
5	1989	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	
6	1990	0.7	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	
7	1991	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5	0.7	
8	1992	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6	
9	2006	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	
10	2009	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	
PROMEDIO		0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	

Cuadro N.1. Velocidades del viento. Fuente: CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

3.1.3. Acueductos, Saneamiento y Gestión de residuos

En general hay una buena red de abastecimiento aunque existe una falta de planificación para evitar problemas de suministro y mantenimiento.

Según los datos del Censo de 2000, excepto en el distrito de Dulce Nombre, hay zonas con un significativo número de viviendas que se abastecen con agua de río, por lo que gran parte de la población se encuentra potencialmente expuesta a riesgos debido a la contaminación de las aguas superficiales.

Asimismo existen unas pequeñas zona ubicadas en los distritos de San Diego, San Rafael, San Ramón y Concepción en las que hay un significativo número de viviendas que se abastecen de agua de pozo y debido al elevado uso de fosas sépticas y letrinas en esta zona se pueden dar casos puntuales de contaminación de los mismos.

Saneamiento

No existe ningún sistema de saneamiento y depuración de aguas residuales domésticas por lo que la calidad de las aguas superficiales del cantón no es buena. En varias zonas del cantón el uso de fosas sépticas es prácticamente generalizado, este método es el más adecuado cuando no existe una red de saneamiento sin embargo requiere que los residuos retirados de la fosas sean gestionados adecuadamente y que no existan infiltraciones al terreno Es probable que ambos condicionantes no se den en muchos casos, con el consiguiente impacto para el medio ambiente.

Muchas de las viviendas que no cuentan con fosa séptica poseen letrinas, que es el siguiente sistema de evacuación de aguas residuales en cuanto a idoneidad después de los anteriormente mencionados.

Por otro lado, según la información cartográfica facilitada por PRU-GAM dentro del cantón existen 4 instalaciones de depuración, las cuales se

encuentran en funcionamiento y son administradas por la Municipalidad. Estas son la de Entebbe, La Jenny, La Eulalia, La Nazareth y la del Residencial Los Geranios, estas últimas trabajan por medio de un sistema de lodos activos.

Gestión de residuos

Los residuos recogidos en el cantón eran depositados en el relleno sanitario de Río Azul, ubicado dentro del cantón y que ha sido cerrado recientemente.

La recolección media diaria de basura en el cantón son 39,5 toneladas y según datos del Ministerio de Salud la cantidad media diaria de basura que recibía el vertedero de Río Azul hasta su cierre (julio 2007) eran 600 toneladas, por lo que el 6,58% de los residuos que eran depositados en este vertedero tenían su origen en el cantón de La Unión.

Este relleno ocupa una superficie de 44,9 hectáreas, y potencialmente está afectando de diversas maneras a los poblados de Río Azul y Quebradas. Asimismo el relleno se encuentra a menos de 500 metros de varios cursos superficiales que se encuentran potencialmente afectados por el mismo.

El botadero a cielo abierto de Río Azul inició en 1973 cuando el antiguo vertedero capitalino fue cerrado. Durante sus primeros doce años de labor, el relleno funcionó adecuadamente. Sin embargo en la década de 1980 y parte de 1990 el relleno presentó problemas de contaminación de las comunidades cercanas, atracción masiva de insectos y roedores, aparición y aumento de los recuperadores clandestinos (buzos) y malos olores.

Según datos procedentes de la Evaluación Nacional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales en Costa Rica (EVAL-2002) la producción de residuos por habitante en La Unión asciende a 0,52 kg/hab día, cantidad que está por debajo del promedio de las poblaciones de entre 50.000-100.000 habitantes (0,74 kg/hab). Además, también según EVAL-2002, la cobertura del servicio de recogida de residuos asciende al 90%, cifra ligeramente superior a la media para ese tipo de poblaciones, que alcanza el 83,6%..

Desde el cierre de Río Azul, los residuos del cantón de La Unión han comenzado a ser enviados al relleno de Los Pinos en Cartago, el cual tiene previsto su cierre para el año 2011. (Plan de Desarrollo Humano Local 2010-2020, Cantón La Unión)

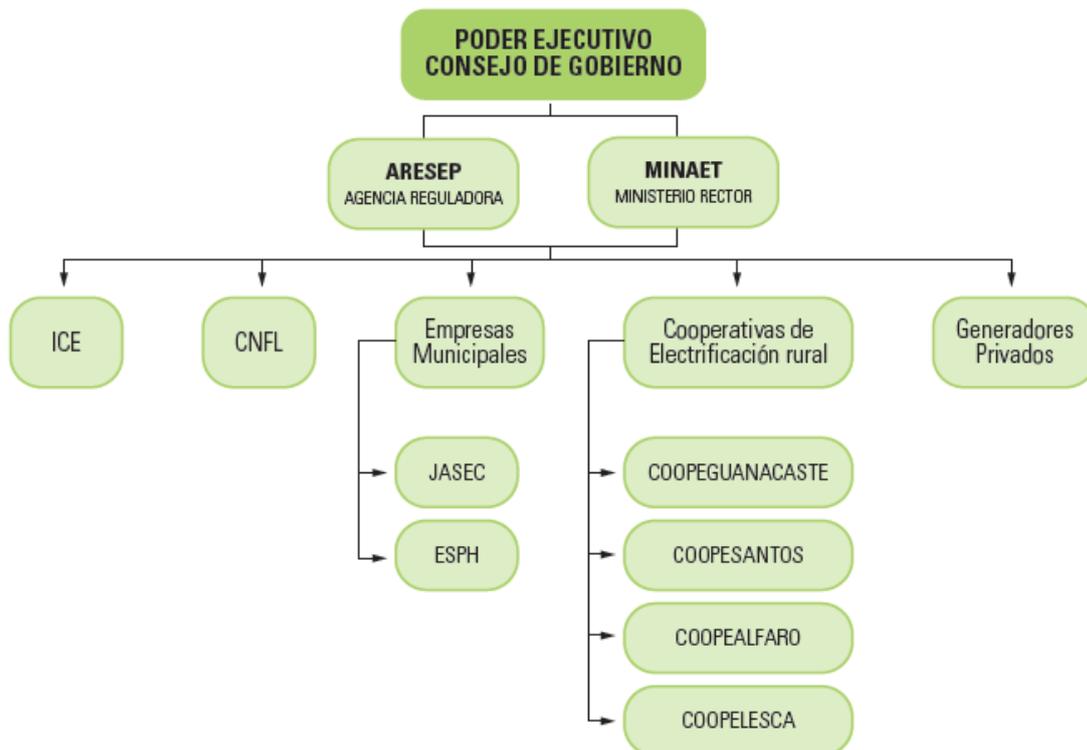
Actualmente hay una campaña de recolección de materiales de reciclaje, pero son los vecinos los que deben acudir a dejar los desechos una vez al mes al Campo Santo del Este, quiénes trabajan en la Campaña Nacional Ambientados de la empresa Kimberly Clark.

3.1.4. Legislación y Vinculación Institucional

En Costa Rica las instituciones encargadas de la regulación y fiscalización de la prestación de los servicios de saneamiento son:

Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET)	<ul style="list-style-type: none"> • Se encarga del aprovechamiento, utilización, gobierno y vigilancia de las aguas de dominio público. • Encargada de otorgar la concesión para brindar o prestar el servicio público de acueducto y alcantarillado sanitario. • Competencia rectora en cuanto a la conservación del recurso agua. • SETENA: analiza y aprueba los estudios de impacto ambiental de los proyectos de abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario y de sistemas de tratamiento de aguas residuales. • Tribunal Ambiental: atiende denuncias y establece sanciones por daño ambiental causado al recurso hídrico. • Dirección General de Gestión de la Calidad Ambiental (DIGECA) regula la calidad de los vertidos a los cuerpos de agua.
Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP)	<ul style="list-style-type: none"> • Encargada de la fijación de las tasas y tarifas por la prestación de estos servicios, así como la fiscalización de la eficiencia de la prestación de éstos. • Le corresponde reglamentar los aspectos relacionados con la calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima del servicio de abastecimiento de agua potable.
Ministerio de Salud (MINSALUD)	<ul style="list-style-type: none"> • Le corresponde aprobar los proyectos de abastecimiento de agua potable, normar y fiscalizar la calidad del agua que recibe la población. • Aprobar y controlar los proyectos de alcantarillado sanitario, de disposición de excretas y de tratamiento de aguas residuales y su ubicación. • Autorizar la descarga de aguas residuales y de establecimientos de salud al alcantarillado sanitario. Igual en lo relativo al vertido de aguas a cuerpos de agua.
Acueductos y Alcantarillados (AyA)	<ul style="list-style-type: none"> • Dirige y vigila todo lo concerniente en el ámbito nacional para la prestación del servicio de agua potable, recolección y evacuación de aguas negras y residuos industriales líquidos y los aspectos normativos en relación con los sistemas de alcantarillado pluvial en las áreas urbanas.
Municipalidades	<ul style="list-style-type: none"> • Administración plena de los sistemas de abastecimiento de agua potable que tradicionalmente han tenido. Por disposición • de la Ley Constitutiva de AyA, las municipalidades que estuvieran administrando y operando sistemas en el momento de crearse el AyA, podían continuar a cargo de estos sistemas siempre y cuando mantuvieran un servicio eficiente.

Cuadro N.2. Instituciones gubernamentales



Esquema N.1 Fuente: Grupo Instituto Costarricense de Electricidad, ICE

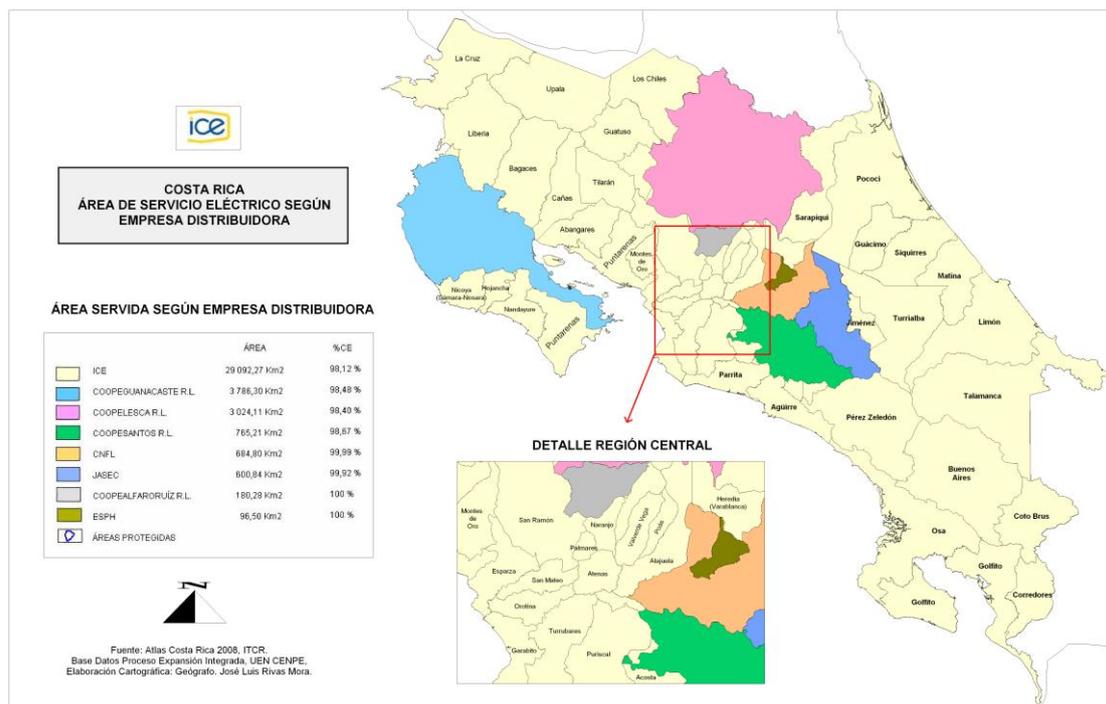


Imagen N.21. Empresas distribuidoras de electricidad. Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad, I.C.E

En el organigrama anterior se expone la distribución administrativa de las diferentes entidades relacionadas con el sector eléctrico costarricense.

En los cuadros siguientes se enlistan algunas leyes, decretos y reglamentos costarricenses relacionados con manejo y saneamiento de aguas residuales, generación energética, entidades relacionadas con dichos sectores

Dichas normativas serán las que nos brindarán los lineamientos necesarios para el estudio planteado y la propuesta a formular.

Leyes, decretos y reglamentos relacionados con el manejo y saneamiento del agua

1. Ley General de Salud y Ley Orgánica del Ministerio de Salud - Ministerio de Salud, San José, Costa Rica, 1974. Art. 286 a 292.
2. Ley de Aguas de Costa Rica No. 276 del 27 de agosto de 1942. Servicio Nacional de Electricidad, reformada por Ley No. 2332 del 9 de abril de 1959 y Ley No. 5516 del 2 de mayo de 1974.
3. Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados - Reformada y Anexos. San José, Costa Rica, 1977 Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
4. Ley de Sanidad Vegetal No. 2852 del 6 de noviembre de 1961, reformada por Ley No. 4295 del 17 de diciembre de 1968 y Ley No. 6248 del 2 de mayo de 1978.
5. Decreto No. 12.194-OP - Formación del Sistema Nacional de Protección y mejoramiento del ambiente, del 12 de enero de 1981
6. Ley de Conservación de la Vida Silvestre. Nº 7317 del 21 de octubre de 1992. Art. 13
7. Normas de ubicación de sistema de tratamiento de aguas residenciales Nº 21518-S, 16 setiembre 1992.
8. Ley Orgánica del Ambiente, Nº 7554, 4 octubre 1995. Art. 65, 66, 52 inciso d), 60, párrafo final.
9. Reglamento sobre el vertido y reuso de aguas residenciales, Nº 26042-SMINAE, 14 abril 1997.
10. Decreto 31176, Reglamento de creación del canon ambiental por vertidos, publicado en La Gaceta el 26 de junio de 2003.
11. Reglamento sobre calidad del agua potable Nº 25991-S, 14 abril 1997.
12. Decreto Nº 21518-S, de setiembre de 1992
13. Ley de exoneración del pago de tributos de sistemas de tratamiento de aguas residuales para contribuir a mitigar la contaminación del recurso hídrico y mejorar la calidad del agua. Ley No. 8932 del viernes 29 de julio del 2011.

Cuadro N.3. Reglamentos nacionales

LEY N° 449: LEY DE CREACIÓN DEL INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD (ICE), DE ABRIL DE 1949. ¹⁴	Encomienda al ICE el desarrollo racional de las fuentes productoras de energía, en especial los recursos hidráulicos.
LEY 5961: DECLARA INTERÉS PÚBLICO RECURSOS GEOTÉRMICOS, DICIEMBRE 1976. ¹⁵	Declara de interés público la investigación, exploración y explotación de los recursos geotérmicos. Designa al ICE como encargado exclusivo de estas actividades.
LEY 7152: LEY ORGÁNICA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE Y ENERGÍA Y TELECOMUNICACIONES, JUNIO 1990. ¹⁶	Constituye el Ministerio y le asigna, como tarea fundamental, la formulación, planificación y ejecución de las políticas de recursos naturales, energéticas, mineras y de protección ambiental.
LEY N° 7200: LEY DE GENERACIÓN AUTÓNOMA O PARALELA, OCTUBRE 1990. REFORMADA POR LEY N° 7508, DE MAYO DE 1995. ¹⁷	Establece los términos y condiciones en que participa el sector privado en la generación eléctrica con recursos renovables.
DECRETO N° 20346- MIRENEM DE MARZO DE 1991. REGLAMENTO DEL PODER EJECUTIVO A LA LEY DE GENERACION AUTONOMO O PARALELA, ABRIL 1991. ¹⁸	Reglamenta la Ley N° 7,200.
LEY N° 7593: LEY DE CREACIÓN DE LA AUTORIDAD REGULADORA DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS, DE AGOSTO DE 1996. ¹⁹	Constituye el ente regulador de los servicios públicos con el propósito de armonizar los intereses de los consumidores, usuarios y prestatarios de los mismos.
DECRETO EJECUTIVO # 25903- MINAE-MOPT, REGLAMENTACIÓN DEL PODER EJECUTIVO A LA LEY DE LA AUTORIDAD REGULADORA DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS, FEBRERO 1997. ²⁰	Reglamenta la Ley 7593, anterior
LEY 8345: PARTICIPACIÓN DE LAS COOPERATIVAS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL Y DE LAS EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS MUNICIPALES EN EL DESARROLLO NACIONAL, MARZO 2003. ²¹	Declara de interés público la participación de cooperativas y empresas municipales en la generación de electricidad, y establece los términos bajo los cuales se puede dar esa participación.
LEY 8723 LEY MARCO DE CONCESIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS FUERZAS HIDRÁULICAS PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA, MAYO 2009. ²²	Establece el marco regulatorio para otorgar concesiones para el aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas para la generación hidroeléctrica.

14 http://www.grupoice.com/esp/ele/docum/ley_449.html http://www.siget.gob.sv/documentos/electricidad/legislacion/reglamento_de_la_ley_general_de_electricidad0.pdf

15 http://www.grupoice.com/esp/ele/docum/energ/ley_5961.htm

16 http://www.pgr.go.cr/scij/scripts/TextoCompleto.dl?Texto&nNorma=10180&nVersion=10892&nTamanoLetra=10&nWebNormativa=http://www.pgr.go.cr/scij/âstrODBC=DSN=SCLJ_NRM;UID=sa;PWD=scij;DATABASE=SCLJ_NRM;âstrServidor=\\pgr04âstrUnidad=D:âstrJavaScript=NO

17 <http://www.aresep.go.cr/docs/Ley%20Generacion%20Electrica%20Autonoma%20a%20Paralela.pdf>

18 <http://www.aresep.go.cr/docs/Reglamentaci%20Ley%207508.pdf>

19 http://www.aresep.go.cr/docs/01-2003-ML_Ley_%20Autoridad_Regul.pdf

20 http://www.ariae.org/costa_rica/Archivos.htm

21 <http://www.asamblea.go.cr/ley/leyes/8000/L-8345.doc>

22 www.hacienda.go.cr/centro/datos/Ley/Ley%208723-Ley%20marco%20consec%20de%20Fuerzas%20hidr%20%C3%A1tulicas%20Gener%20%C3%B3n%20Hidroel%C3%A9ctrica-Lat%20Gaceta%2087-7%20MAY-2009.doc

Cuadro N.4. Leyes vigentes

Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales

Se crea el decreto 33601 del Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, basado en el supuesto de que al proteger el recurso hídrico estamos protegiendo la salud de las personas y demás seres vivos; siendo éste un tema de vital importancia debido a que la contaminación de las aguas es uno de los problemas de mayor incidencia negativa en el entorno ambiental, favoreciendo la proliferación de enfermedades, reduciendo el número de fuentes disponibles, elevando los costos para el abastecimiento de agua para

consumo humano y poniendo en peligro la extinción a muchas especies de nuestra flora y fauna. (Costa Rica: Presidencia de la República y los Ministros de Salud y de Ambiente y Tecnología, 1997)

Según el artículo 3, todo ente generador deberá estar provisto de los sistemas de tratamiento de aguas residuales necesarios para cumplir con las disposiciones del artículo 27 y los límites contenidos en la Tabla 6 del Apéndice del Reglamento de Vertido y reuso de aguas residuales (Ver Anexo X). Además de esto, las concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5, 20) y de Sólidos Suspendidos Totales (SST) no podrán superar los 50 mg/l. . (Costa Rica: Presidencia de la República y los Ministros de Salud y de Ambiente y Tecnología, 1997)

Hay un proyecto de ley que se encuentran en proceso de aprobación actualmente en la asamblea legislativa:

Ley de Contingencia Eléctrica

Debido al aumento en la producción de electricidad a base de hidrocarburos en Costa Rica, el actual Ministro de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, el señor René Castro impulsa un proyecto de Ley de Contingencia Eléctrica presentado en el 2011 que consiste en: *“...permitir una mayor participación (25% de la demanda nacional) del sector privado en la generación de electricidad, con fuentes limpias como viento, agua o los desechos.”* (Agüero, 2012, p. 4A)

En algunos países se han implementado incentivos con el fin de promover que la empresa privada y la sociedad en general utilicen sistemas renovables, no sólo como forma de autoabastecimiento, sino que también puedan recibir utilidades de la misma. Esta propuesta también está contemplada en ésta ley, la cual *“...procura que los usuarios aporten pequeñas cuotas de energía al sistema eléctrico mediante la autogeneración...”* (Agüero, 2012, p. 4A)

3.1.5. Descripción del sistema de depuración

Dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales podemos encontrar dos tipos de tratamientos:

- **Los tratamientos por métodos biológicos anaerobios y**
- **Los tratamientos por métodos biológicos aerobios**

A continuación menciono algunos ejemplos de estos sistemas:

Sistemas anaerobios:

1. Lagunas anaerobias
2. Fosas (tanques) sépticas
3. Bio-digestores
4. Filtros anaerobios
5. Filtros de flujo ascendente (FAFA)

Sistemas aerobios:

1. Ríos y quebradas
2. Lagunas facultativas
3. Lagunas artificiales
4. Zanjas de oxidación
5. Filtros percoladores
6. **Lodos activados**

El sistema que la planta de tratamiento utiliza para la depuración de las aguas residuales es el **sistema aerobio de lodos activados con aireación extendida**, el cual consta de varios tratamientos a saber: el **Tratamiento Primario**, consiste en filtrar las aguas residuales por una rejilla encargada de retener sólidos gruesos, plásticos, material no biodegradable, entre otros sólidos no tratables.

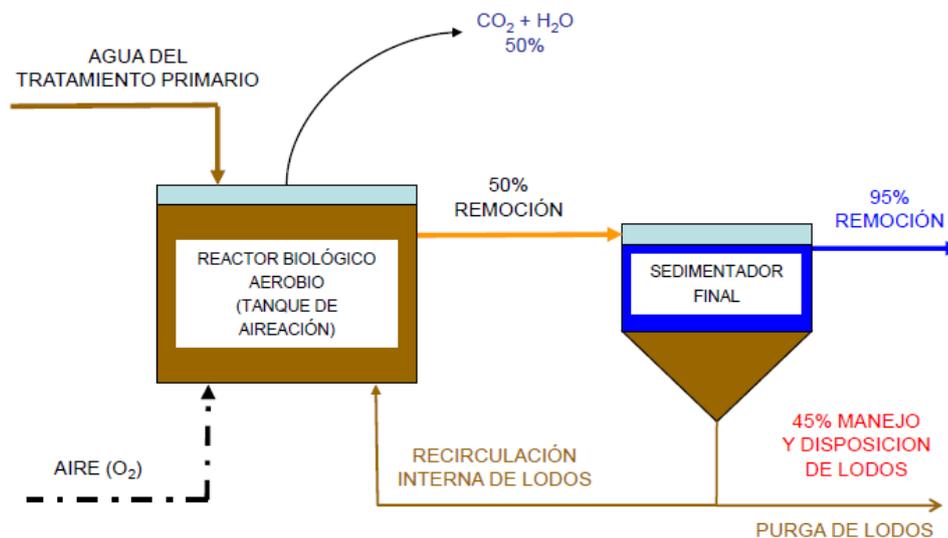
Luego del Tratamiento Primario, se tratan las aguas libres de sólidos, con un **Tratamiento Secundario** en un reactor biológico aerobio (Tanque de aireación) en el cual funcionan dos aireadores que inyectan aire por medio de

dos bombas, estos aireadores se encuentran sumergidos dentro de los tanques, una para cada aireador.

Luego del **Reactor Biológico** se encuentra un **Clarificador Secundario**, donde se retiene la biomasa (microorganismos) que abandona el tanque de aireación, en este clarificador el efluente perfectamente clarificado, sin sólidos en suspensión, libre de olor y color. Las aguas que se depositan en el Clarificador son retornadas al sistema con el fin de mantener la concentración de biomasa deseada dentro del **Tanque de Aireación**.

El exceso de lodos producido por el sistema se dirige hacia un **Digestor de Lodos**; posteriormente dicho lodo es secado en **Cámaras de Secado de Lodos**. El efluente sólido del sistema es utilizado para abonar las áreas verdes alrededor de la planta, mientras que el agua residual una vez tratada se vierte a la Quebrada colindante al residencial. En el Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales especifica los valores máximos permitidos vertidos a un río o quebrada.

En el siguiente esquema se explica el funcionamiento actual de la planta, anteriormente expuesto.



Esquema N.2.

Fuente: <http://www.edeca.una.ac.cr/files/EDECA/Eventos/Calvo.pdf>

El diseño de la planta de tratamiento está conformado por varios sistemas y mecanismos electromecánicos, que en conjunto conforman la totalidad del proyecto, dentro de algunas de sus partes podemos citar a continuación las siguientes:

- Sistema de rejillas, separador de flotantes y desarenador
- Digestor de lodos
- Tanques y Reactores de aireación
- Lechos de secado de lodos
- Equipos (bombas) de recirculación de lodos
- Panel de control
- Variadores de frecuencia



Fotografía N.1. Planta de tratamiento de aguas residuales Los Geranios.

Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.2. Caja de registro de la tubería que entra a la planta de tratamiento, Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.3. Sistema de rejillas, separador de flotantes y desarenador, Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.4. Sistema de rejillas, Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.5. Clasificador secundario, Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.7. Equipos sumergidos de aireación, Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.8. Lechos de secado de lodos, Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.9. Salida de agua a la quebrada, Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.10. Panel de control de donde se tiene acceso a los sistemas de monitoreo de los aireadores, recirculación y digestor de lodos, Fotografía A. Hidalgo, 2012



Fotografía N.11. Variadores de frecuencia, utilizado para transformar la electricidad de la fase monofásica a trifásica, uno para cada aireador,
Fotografía A. Hidalgo, 2012

Bombas Aireadoras



Imagen N.22. Fuente: <http://www.grupogemasa.com/bombas.html>

El modelo TR es un aireador sumergible mecánico con un principio de funcionamiento innovador. Se crea un vacío por la combinación de la acción de la cuchilla trasera y la corriente generada por un impulsor abierto especial. El aire aspirado por esta presión negativa crea un efecto de agitación por convección. Esto significa una gran eficiencia en la disolución del oxígeno.



Imagen N.23. Fuente: <http://www.grupogemasa.com/bombas.html>

El TRN es una versión modificada del aireador TR con un impulsor inobstruible para tanques de aireación que incluyen una gran cantidad de impurezas.

Variadores de frecuencia



Imagen N.24. Fuente: <http://www.weg.net/cr/Productos-y-Servicios/Drives/Convertidores-de-Frecuencia/Convertidor-de-Frecuencia-CFW09#>

La línea de convertidores de frecuencia WEG CFW-09 incorpora la más avanzada tecnología para el accionamiento de motores eléctricos de inducción trifásicos.

La serie CFW-09 permite un exclusivo método de frenado denominado Optimal Braking®. Esta función permite que se elimine en algunas aplicaciones la necesidad de la resistencia de frenado siendo una solución simple compacta y económica.

Fuente: Catalogo técnico WEG <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-cfw-09-convertidores-de-frecuencia-1033-catalogo-espanol.pdf>



Imagen N.25.

Fuente:<http://www.yaskawa.com/site/products.nsf/products/Industrial%20AC%20Drives~V1000.html>

El V1000 es una unidad compacta de vector de corriente que define un nuevo estándar mundial. Las exigencias de eficiencia producción y una mejor capacidad de mantenimiento van en aumento, impulsada por la competencia global.

Fuente: Catalogo técnico YASKAWA

[http://www.yaskawa.com/site/dmdrive.nsf/\(DocID\)/MWIN76ZLFB/\\$File/FL.V1000.01S.pdf](http://www.yaskawa.com/site/dmdrive.nsf/(DocID)/MWIN76ZLFB/$File/FL.V1000.01S.pdf)

3.1.6. Administración de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales está conectada al alcantarillado sanitario del residencial, en el cual solo desfogon aguas grises y negras y no aguas pluviales, el agua llega a la planta por medio de gravedad,

aprovechando la topografía de la propiedad, dicha planta está ubicada en el lindero Nor-Este del residencial Los Geranios, protegida por un cerramiento en malla metálica y se ubica cerca de las márgenes de La Quebrada Carpintera.

Dicha planta fue construida por la empresa Durman Esquivel S.A aproximadamente 5 años atrás (2006); esta fue administrada por la compañía antes citada, dos años después de haber sido terminada su construcción, actualmente la **Municipalidad del Cantón de La Unión** es la entidad que la administra y es la **Dirección de Recurso Hídrico** a la cual atiende el Ingeniero Gerardo Cordero Fernández, el responsable de su buen funcionamiento.

En la actualidad dicho municipio asume el pago por concepto de gastos de operación y mantenimiento, del cual se encargan dos funcionarios municipales, además del pago respectivo por concepto de energía eléctrica que utiliza la planta para su funcionamiento (servicio que brinda la **Compañía Nacional de Fuerza y Luz C.N.F.L.**)

Según levantamiento realizado por el señor **Claver Barrera** oficial de seguridad del residencial, el día 1 de marzo del 2012, este indica que para esa fecha habitan 77 familias en el residencial (una casa por familia), 4 viviendas se encuentran en construcción y otras 7 se encuentran a la venta (desocupadas), así como hay 71 propiedades en las cuales no se les ha construido ningún bien inmueble, estas 77 familias que se ven beneficiadas del tratamiento de las aguas.

El día 23 de enero se publicó en el diario oficial del gobierno de Costa Rica **La Gaceta N.16 El Reglamento para la operación y administración del acueducto de la Municipalidad de la Unión** en el cual hace referencia a la administración del acueducto municipal, pero no hace referencia al tema de plantas de tratamiento, ni tampoco al rubro por cobrar por tratar las aguas residuales. En **la Gaceta del día 27 de marzo del 2011** se publicó el rubro por concepto de Tratamiento de Aguas Residuales: estipulado este último en dos mil setecientos cuarenta y cinco colones (¢2.745,00) para los consumos entre

0 y 15 metros cúbicos. Ciento ochenta y tres colones (¢183,00) el metro cúbico adicional. Recolección de Aguas Residuales: cuatrocientos cinco colones (¢405,00) para los consumos entre 0 y 15 metros cúbicos. Veintisiete colones (¢27,00) el metro cúbico adicional.

Si bien la municipalidad asume económicamente el monto por el consumo energético que la planta necesita para tratar las aguas, este consumo seguirá creciendo conforme se construyan más casas; por consiguiente es necesario tratar de abastecer energéticamente a la planta por medio de algún sistema generador energético alternativo que incorpore energías renovables esto para no depender de la red pública de energía.

Operación y mantenimiento

El sistema de tratamiento requiere al igual que cualquier otro sistema de tratamiento atención periódica. Los señores Carlos Miranda bajo el cargo de técnico electricista y el señor Federico Pacheco de cargo ayudante de técnico, ambos funcionarios municipales, son las personas que tienen acceso a la planta de tratamiento y que se encargan de brindar el debido mantenimiento, además de encargarse de las labores de limpieza de las zonas verdes, se encargan de las labores rutinarias de operación de la misma, realizando visitas diarias, para cerciorarse del buen funcionamiento de la planta, dentro de este mantenimiento, podemos mencionar que dichos funcionarios controlan los aireadores y equipos mecánicos (bombas y variadores) intercambiando el uso de los aireadores, esto debido a que no se necesitan que ambos estén en funcionamiento simultáneamente, ya que actualmente dicha planta no trata la totalidad de las aguas para la cual fue diseñada; cuando en el residencial se habiten y se haga uso de la totalidad de las casas, se necesitará que ambos aireadores funciones para garantizar el buen depuramiento de las aguas residuales.

Cabe mencionar que los lodos restantes son utilizados como abono para plantas y áreas verdes de alrededores de la planta, esta labor no produce ninguna rentabilidad al proyecto, si no, más bien, no se incurre en gastos extra a no tener que transportar dichos lodos fuera del área de estudio.

En la actualidad en Costa Rica la normativa relacionada al vertido de las aguas tratadas le corresponde al **Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601-MINAE-S La Gaceta 55, 2007** y es en el artículo 20, en la tabla 4 donde se expresan los valores máximos permitidos de aguas vertidas a un cuerpo receptor, a continuación el artículo:

Artículo 20. —Límites para el vertido de aguas residuales a un cuerpo receptor. Parámetros universales de análisis obligatorio. Los parámetros obligatorios universales de las aguas residuales que se viertan en un cuerpo receptor, deberán cumplir con los límites contenidos en la Tabla dada a continuación.

Parámetro	Límite
- DBO _{5,20}	50 mg/L
- DQO	150 mg/L
- Sólidos suspendidos	50 mg/L
- Grasas/aceites	30 mg/L
- Potencial hidrógeno	5 a 9
- Temperatura	15°C ≤ T ≤ 40°C
- Sólidos sedimentables	1 mL/L
- Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Tabla N. 3. Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en el cuerpo receptor

Estos valores se analizan y se comparan con el análisis realizado por el **Laboratorio Nacional de Aguas de Acueductos y Alcantarillados A.Y.A** del día 21 de marzo del presente año y facilitado por el departamento de la **Dirección de Recurso Hídrico de La Municipalidad de la Unión**, el cual nos brinda un reporte donde los niveles de depuración de la planta no están dentro de los parámetros que estipula el artículo 20 del reglamento antes citado, por tanto los valores de demanda biológica como química están sobrepasando los valores permitidos, situación preocupante que nos revela que hay algo dentro del sistema de depuración que no está funcionando adecuadamente, estos valores se demuestran en el reporte y a continuación los resultados:

DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.REC	V.MAX
Coliformes fecales	*	3300000	NMP/100 mL		0	0	9221 E		
Conductividad	*	676	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
DBO Total	*	259	mg/L	10,0	10	20	5210 B		50
DQO Total	*	401	mg/L	8,0	10	16	5220 D		150
Grasas y aceites	*	9,0	mg/L	0,50	0,5	1,0	5520 B		30
Material flotante	**	ausente							
Oxigeno Disuelto	*	0,44	mg/L	0,50	0,5	1,0	4500-O C		
Potencial de Hidrógeno, pH	*	7,48		0,10	0,10	0,20	4500-H+		5,0 a 9,0
Sólidos disueltos totales, SDT.	*	453	mg/L	1,0	2	5	0261		1000
Solidos Susp. Sedimentables	*	40	mL/L/hr	0,10	0,1	0,15	2540 F		1,0
Sólidos suspendidos totales, SST.	*	375	mg/L	1,0	2	5	2540 D		50
Sólidos totales totales, STT.	*	828	mg/L	1,0	2	5	2540 B		
Sustancias Activas al Azul de Metileno	*	1,0	mg/L	0,40	0,7	1,0	5540 C		5
Temperatura del agua	*	24,4	°C	0,10			2550 B		15 a 40°C
Temperatura del ambiente	*	27,0	°C				2550 B		

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza
V.MAX: Valor máximo admisible. Decreto No. 26042-S-MINAE

* Ensayo acreditado. Ver alcance en www.esa.or.cr
** Ensayo no acreditado

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado
LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado
N.D.: No detectado, nivel bajo el límite de detección

Condiciones Ambientales:

Tiempo soleado.

Observaciones:

Muestreo compuesto de 4 horas, iniciando a las 11:30 y finalizando a las 14:30 horas. Muestra integrada a partir de 4 submuestras de 1 litro cada una para obtener una muestra compuesta de 3,5 litros para los análisis. Los niveles de DBO y DQO totales, los sólidos suspendidos totales y los sólidos sedimentables no cumplen los requisitos de calidad establecidos. El deterioro de la calidad del efluente ocurre por la resuspensión de lodos activados por el desnivel que tiene la canaleta de reunión de aguas tratadas.

Cuadro N.5. Fuente: Departamento de Recurso Hídrico,
Municipalidad de la Unión

3.1.7. Consumo energético actual

La planta actualmente funciona con dos aireadores sumergibles marca TSURURMI modelo TRN con motor de 5 HP (caballo de fuerza) equivalente a 3,75 Kw, cada uno, a 230 voltios, en fase trifásica, dichos aireadores son alimentados por dos variadores de frecuencia uno marca YASKAWA, modelo V1000 y el otro marca WEG modelo CFW-09, estos son los que cambian la fase de monofásica a trifásica, además de estos equipos mecánicos la planta cuenta también con 2 bombas, una para recirculación interna de lodos y la otra para bombear el agua al lecho de secado de lodos, cada una con motor de 1 HP (caballo de fuerza) en su equivalencia a 0,75 Kw, funcionando a 110 voltios, en fase monofásica, como se mencionó anteriormente, en la actualidad los dos aireadores no trabajan simultáneamente por lo que la carga a estimar cuando este en su total funcionamiento difiere a la carga actual, pero para este estudio

se planteará buscar la eficiencia energética a partir del consumo máximo registrado actualmente.

Para conocer el consumo energético de la planta, se consultó al Ingeniero Municipal, el señor Gerardo Cordero el cual facilitó las facturas respectivas para saber del consumo energético de la planta, el cual como se menciona anteriormente es asumido por la Municipalidad de la Unión.

Si observamos los rubros de las facturas, bajo el régimen de tarifa general, correspondientes a los últimos tres meses del año 2011, cabe destacar, que para el mes de octubre, el mes de máxima demanda energética la carga demandada es de 3.089 Kwh, para noviembre es de 3.036 Kwh y para diciembre del 2011 es de 2.954 Kwh. El monto a cancelar por electricidad para el mes diez es 315.755,00 colones al tipo de cambio del 23 de febrero 2012, el dólar está en 517.10 colones, por lo que este rubro no asciende los 610,63 dólares norteamericanos. Si tomamos los 315.755,00 colones y los dividimos entre la carga de 3.036 Kwh obtenemos que el costo por cada Kwh es 104,00 colones.

El valor de la demanda energética para el mes de octubre, es de 3.036 Kwh, si multiplicamos los 32 días que toma el recibo por concepto de esta factura y lo multiplicamos por 24 horas tenemos como resultado 768 horas para todo el mes, por lo que si dividimos los 3.036Kwh entre las 768 horas tenemos que la planta de tratamiento en su máxima demanda para el año 2011 consumió 3,95Kw.

Por otra parte, cabe mencionar, que para los meses de julio, agosto y septiembre los montos varían significativamente con relación a los últimos tres meses, esto debido a que uno de los variadores de frecuencia que alimentan a uno de los aireadores se había dañado y se pudo reparar hasta el mes diez, mes que se normalizó su buen funcionamiento.

A continuación el detalle de los recibos por concepto de electricidad de los meses de noviembre y diciembre del año 2011 y el de enero del presente año:

F-01 COPIA

FACTURA

17652786

COMPANIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ

COPIA DE COMPROBANTE DEL CLIENTE

FACTURA PAGADA

NISE/LOCALIZACIÓN

8631253060

MUNICIPALIDAD DE LA UNION,
URB. LOS GERANIOS CONTIG. CEMENT

NÚMERO DE MEDIDOR

1 010 450

NRO. DE CLIENTE	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	CONSUMO KWH	DIAS FACTURADOS	CONSUMO DIARIO KWH
2-3014042083	83721	80632	1	3089	32	96,53

FECHA DE FACT. ACTUAL	FECHA DE FACT. ANTERIOR	PROXIMA FACT. PREVISTA	DESCRIPCION DE TARIFA
25-OCT-2011	23-SEP-2011	24-NOV-2011	TG GENERAL

HISTORIA DE CONS. KWH

RUBROS DE LA FACTURA

MES	AÑO	KWH	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
5	2011	1559	1	ENERGIA	€ 305,810.00
6	2011	2026	6	ALUMBRADO PUBLICO	€ 9,945.00
7	2011	965	24	IMPUESTO DE VENTAS.	€ 0.00
8	2011	1873			
9	2011	1788			
10	2011	3089			
PENDIENTES					

0 MESES PENDIENTES

Valor Emisión :

€ 315,755.00

SI USTED YA CANCELÓ FAVOR OMITIR ESTE AVISO

Saldo Actual :

€ 315,755.00

Factura N.1. Eléctrica facilitada por la Municipalidad de la Unión

F-01 COPIA

FACTURA

18160181

COMPANIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ

COPIA DE COMPROBANTE DEL CLIENTE

FACTURA PAGADA

NISE/LOCALIZACIÓN

8631253060

MUNICIPALIDAD DE LA UNION,
URB. LOS GERANIOS CONTIG. CEMENT

NÚMERO DE MEDIDOR

1 010 450

NRO. DE CLIENTE	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	CONSUMO KWH	DIAS FACTURADOS	CONSUMO DIARIO KWH
2-3014042083	86757	83721	1	3036	30	101,20

FECHA DE FACT. ACTUAL	FECHA DE FACT. ANTERIOR	PROXIMA FACT. PREVISTA	DESCRIPCION DE TARIFA
24-NOV-2011	25-OCT-2011	26-DIC-2011	TG GENERAL

HISTORIA DE CONS. KWH

RUBROS DE LA FACTURA

MES	AÑO	KWH	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
6	2011	2026	1	ENERGIA	€ 300,565.00
7	2011	965	6	ALUMBRADO PUBLICO	€ 9,775.00
8	2011	1873	24	IMPUESTO DE VENTAS.	€ 0.00
9	2011	1788			
10	2011	3089			
11	2011	3036			
PENDIENTES					

0 MESES PENDIENTES

Valor Emisión :

€ 310,340.00

SI USTED YA CANCELO FAVOR OMITIR ESTE AVISO

Saldo Actual :

€ 310,340.00

Factura N.2. Eléctrica facilitada por la Municipalidad de la Unión

F-01 COPIA

FACTURA

18686481

COMPANIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ

COPIA DE COMPROBANTE DEL CLIENTE

FACTURA PAGADA

NISE/LOCALIZACIÓN

8631253060

MUNICIPALIDAD DE LA UNION
URB.LOS GERANIOS CONTIG.CEMENT

NÚMERO DE MEDIDOR

1 010 450

NRO. DE CLIENTE	LECTURA ACTUAL	LECTURA ANTERIOR	CONSTANTE	CONSUMO KWH	DIAS FACTURADOS	CONSUMO DIARIO KWH
2-3014042083	89711	86757	1	2954	32	92,31

FECHA DE FACT. ACTUAL	FECHA DE FACT. ANTERIOR	PRÓXIMA FACT. PREVISTA	DESCRIPCIÓN DE TARIFA
26-DIC-2011	24-NOV-2011	25-ENE-2012	TG GENERAL

HISTORIA DE CONS. KWH

RUBROS DE LA FACTURA

MES	AÑO	KWH	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
7	2011	965	1	ENERGIA	€ 292,445.00
8	2011	1873	6	ALUMBRADO PUBLICO	€ 9,510.00
9	2011	1788	24	IMPUESTO DE VENTAS	€ 0.00
10	2011	3089	TRB	TRIBUTO BOMBEROS	€ 3,030.00
11	2011	3036			
12	2011	2954			

PENDIENTES

0 MESES PENDIENTES

Valor Emisión :

€ 304.985.00

SI USTED YA CANCELÓ FAVOR OMITIR ESTE AVISO

Saldo Actual :

€ 304.985.00

Factura N.3. Eléctrica facilitada por la Municipalidad de la Unión

Fase 2 – Análisis de los posibles sistemas a implementar

3.2.1. Panorama actual de las energías renovables en Costa Rica

América Central al estar situada entre los trópicos de cáncer y capricornio, tiene una ubicación estratégica al contar con suficientes recursos para desarrollar sistemas tanto hidráulicos, solares, eólicos como de biomasa; dicha ubicación hace a dicha zona contar con relaciones comerciales con el resto del mundo tanto de materias primas como de tecnologías de energía renovable aplicadas a pequeña y gran escala, las cuales representan una alternativa viable para el abastecimiento de energía a comunidades rurales, así como también contribuir a la expansión de la capacidad eléctrica instalada ya sea por medio de proyectos aislados o conectados a la red eléctrica.

Además la implementación de estas tecnologías puede disminuir la contaminación del medio ambiente y contribuir a disminuir la producción de los gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global.

Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energías, tanto la falta de conocimiento de dichas tecnologías, como la falta de capacitaciones técnicas, financiamiento o subvenciones.

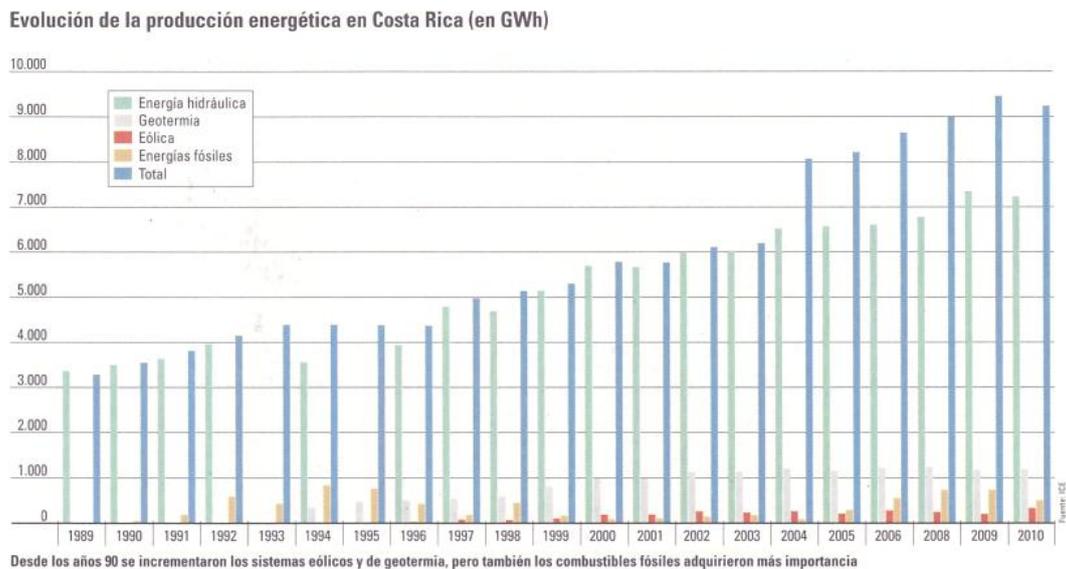


Grafico N.4. Producción energética. Fuente: Revista PHOTON julio 2011 pag 94, España

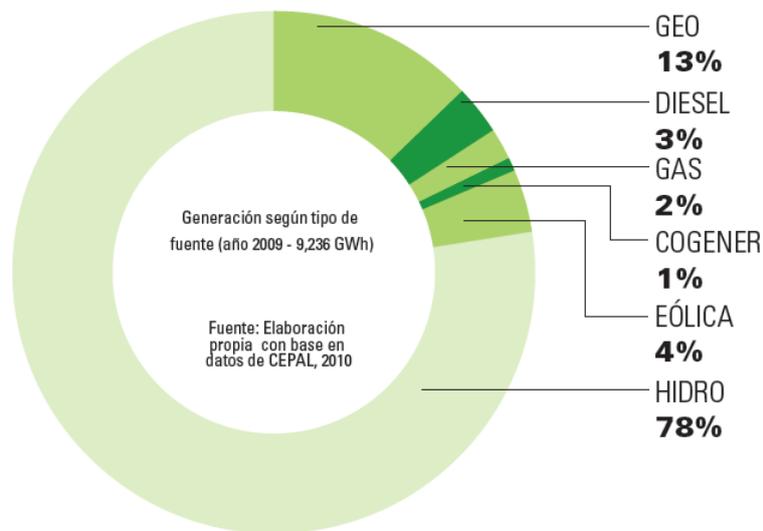


Grafico N.5. Evolución de las energías renovales para generación eléctrica en C.R

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, 2010

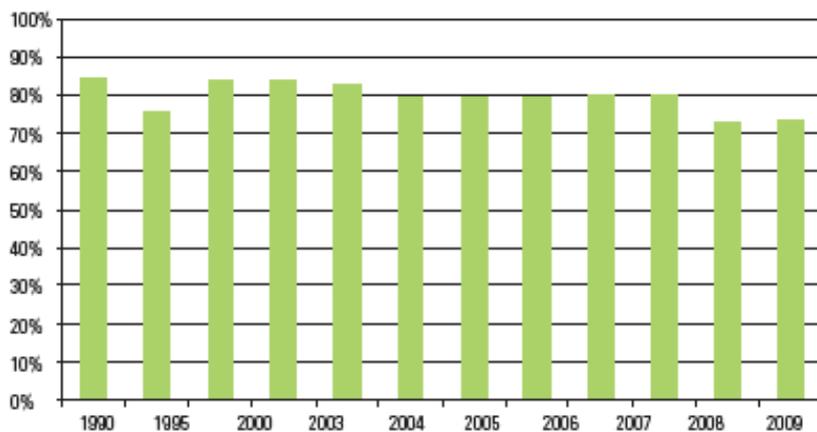
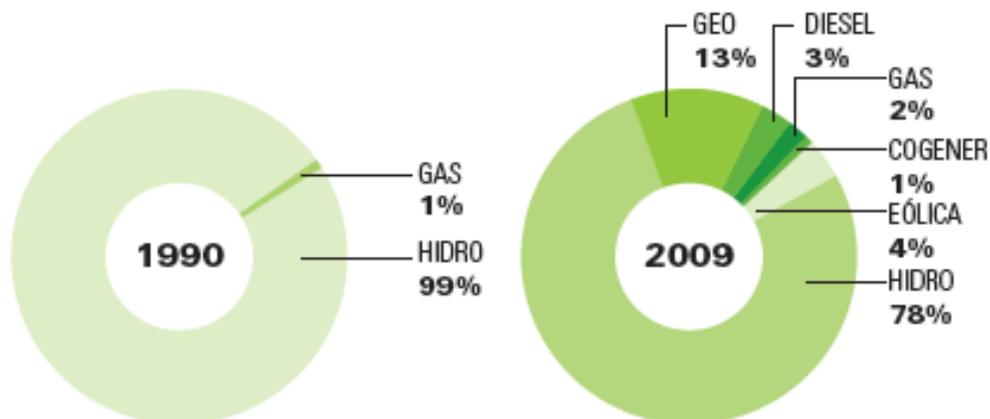


Grafico N.6. Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, 2010

Haciendo un análisis de lo expuesto anteriormente y conociendo las preexistencias del entorno, a continuación y para este estudio una breve descripción de los sistemas de energías renovables que se pueden implementar en este proyecto, clasificadas de la siguiente manera:

- **Energía hidroeléctrica a pequeña escala**
- **Energía solar fotovoltaica**
- **Energía abastecida por sistemas mixtos**

3.2.2. Implementación de sistemas de abastecimiento energético

3.2.3. Energía hidroeléctrica a pequeña escala

La generación de energía por medio de una corriente de agua, es la fuente de energía renovable más usada en el mundo para generar electricidad. La mayoría es producida con centrales de gran escala que utilizan presas y embalses, los cuales pueden almacenar una cantidad considerable de agua para regular la generación y el abastecimiento. Estas centrales tienen la capacidad de generar electricidad en forma constante durante ciertos períodos, es importante destacar que en la estación de verano (de los meses de diciembre a abril) los caudales de los ríos bajan considerablemente.

En la actualidad, la generación de electricidad por medio de los aprovechamientos hidráulicos sigue siendo una excelente vía para el desarrollo de los países de América Central.

La energía hidráulica es el aprovechamiento de la energía potencial que tiene el agua (por diferencia de altura) que se obtiene buscando una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior, la que luego se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina.

También es posible conectar la turbina a un generador eléctrico y de esta manera transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Por lo tanto, la cantidad de potencia y energía disponible en el agua de un río o una quebrada, es directamente proporcional a la altura o caída disponible, así como a la cantidad de agua (caudal).

El caudal puede variar considerablemente a lo largo del año, por lo que es necesario conocer la magnitud del caudal durante las diferentes estaciones, para estimar de una manera más precisa la potencia.

Como estrategia inicial para escoger un posible aprovechamiento hidráulico se debe buscar la mayor caída o altura disponible y de esta manera usar la cantidad mínima de agua que se requiera para satisfacer las necesidades de energía y potencia.



Fotografía N.12. Casa de maquinas, proyecto mini hidroeléctrico, Liberia, Guanacaste. Fotografía A. Hidalgo, 2012

3.2.3.1. Aspectos técnicos

La potencia de una instalación hidroeléctrica está en función de las siguientes variables:

- El caudal del río o la cantidad de agua pasando en un periodo fijo, generalmente medido en metros cúbicos por segundo (m^3/s)

- La caída o la diferencia en altura entre la toma de agua y la turbina
- Las pérdidas por fricción entre la toma de agua y la turbina
- La eficiencia de la turbina y el generador

Como parte del análisis que se debe realizar, hay que tomar en cuenta la evaluación del medio físico, es decir el conocimiento de las condiciones naturales del sitio; se deben analizar los indicadores meteorológicos y las características físicas de la cuenca del río.

Tipos de centrales hidroeléctricas

Se pueden distinguir principalmente dos tipos de centrales hidroeléctricas: las que utilizan el agua que fluye normalmente por el cauce de un río y aquellas que son tomadas de un lago o embalse.

Centrales con embalse

Son centrales medianas o grandes que tienen la opción de almacenar las aportaciones de un río mediante un embalse. En estas centrales, se regulan los caudales de salida para utilizarlos cuando sea necesario. Para la construcción de estos embalses muchas veces se inundan terrenos fértiles y en ocasiones se tiene que evacuar poblaciones cercanas a la zona.

Todos los países de América Central dependen en gran parte de este tipo de centrales para la provisión de electricidad a sus poblaciones.

Centrales a filo de agua

Son aquellas instalaciones que mediante una toma de agua, captan una parte del caudal del río para después devolverlo a su propio cauce y el agua que es tomada se conduce hacia la central para su aprovechamiento energético. Como ejemplos de estas centrales están las centrales pequeñas y medianas, estas tienen un impacto mínimo al medio ambiente porque al no bloquear el cauce del río, no inunda terrenos adyacentes.

Partes que conforman una central mini hidroeléctrica

1. Toma

Este elemento se encarga de introducir y controlar el ingreso de agua, la toma sirve como una zona de transición entre una corriente y un flujo de agua que debe ser controlado, tanto en calidad como en cantidad.

2. Turbina

Es el elemento encargado de transformar en energía mecánica la energía contenida en el agua, al mismo tiempo es el componente principal de una central hidroeléctrica, donde se transforma la energía contenida en el agua, en energía mecánica. Existen diferentes tipos de turbina según la relación de caída y agua. El tipo más apropiado para un proyecto depende de las condiciones topográficas e hidrológicas del sitio, siendo el caudal y caída las más importantes. Se distinguen turbinas de reacción y acción, Francis, Kaplan, Pelton y Banki.

3. Generador o Alternador

Se encarga de convertir la energía mecánica recibida de la turbina a través de un eje, en energía eléctrica. La potencia de los generadores tiene que estar acorde con el de la turbina. Para proyectos de mini-hidro generalmente se usan alternadores, que generan electricidad a corriente directa (CD), a 12 ó 24 voltios.

4. Transformador o Inversor

Se utiliza para elevar el voltaje de la corriente generada. En muchos casos se puede prescindir del transformador, pero si se debe transportar la corriente a grandes distancias y el generador trabaja a bajo voltaje.

3.2.3.2. Aspectos ambientales

Desde el punto de vista ambiental, la energía hidroeléctrica tiene la gran ventaja de ser un recurso limpio y renovable. Su utilización no genera emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que contribuye a la reducción

del calentamiento global. Adicionalmente, los proyectos a pequeña escala no producen impactos significativos al ambiente local cuando están instalados y operados en forma apropiada.

Los impactos varían con la ubicación y la configuración del proyecto. Desde el punto de vista de la ubicación, un aprovechamiento en una zona montañosa genera diferentes impactos que uno de llanura.

3.2.4. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo; algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, en el caso particular de América Central, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnica y económica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar.

Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, Costa Rica es una región muy privilegiada con respecto del recurso solar disponible, aunque siempre es necesario evaluar el potencial solar de un sitio específico donde se planea instalar un sistema fotovoltaico.

La energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado. El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico.



Fotografía N.13. Paneles fotovoltaicos, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Huelva, España. Fotografía A. Hidalgo 2011

3.2.4.1. Aspectos técnicos

La energía solar se puede transformar de dos maneras:

- La primera, utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.
- La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de paneles solares fotovoltaicos.

Dentro de las fases del sistema podemos mencionar la **transformación** directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica, **almacenamiento** adecuadamente la energía eléctrica generada, **abastecimiento** adecuado de la energía producida y almacenada y la **utilización** eficiente la de energía.

Partes que conforman un sistema fotovoltaico:

1. Panel fotovoltaico

Una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.

Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas.

Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares.

Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

- Módulos de silicio monocristalino: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos.
- Módulos de silicio policristalino: son ligeramente más baratos que los módulos de silicio monocristalino, aunque su eficiencia es menor.
- Módulos de silicio amorfo: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared.

2. Marco de vidrio y aluminio

Este tiene la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico.

El vidrio frontal es antireflejante para optimizar la captación de los rayos solares. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación

adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios convenientemente ubicados.

3. El Regulador de Carga

Este es un dispositivo electrónico que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia los equipos que se abastecen.

4. El Inversor

Proveer adecuadamente energía eléctrica no sólo significa hacerlo en forma eficiente y segura para la instalación y las personas; sino que, también significa proveer energía en la cantidad, calidad y tipo que se necesita.

El tipo de la energía se refiere principalmente al comportamiento temporal de los valores de voltaje y corriente con los que se suministra esa energía. Algunos aparatos eléctricos, como lámparas, radios y televisores funcionan a 12 voltios (V) de corriente directa, y por lo tanto pueden ser energizados a través de una batería cuyo voltaje se mantiene relativamente constante alrededor de 12 V.

Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 ó 24 Voltios por lo que se requiere de un componente adicional, el inversor, que transforme, a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa a 12 V de la batería en corriente alterna a 120 V.

5. Baterías

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de

las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a la red

Sistemas centralizados aislados de la red

Los sistemas fotovoltaicos son una opción válida para la electrificación rural cuando:

No existe la posibilidad técnica o económica de llevar la red eléctrica convencional hasta cada una de las viviendas donde las familias demandan cantidades moderadas de energía.

Un sistema centralizado es un sistema fotovoltaico capaz de satisfacer la demanda energética de una comunidad con electricidad que se produce, almacena y transforma en un sistema fotovoltaico central y que luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas.

Las características fundamentales de los sistemas centralizados son la concentración de equipos y la distribución de electricidad; no siendo así la cantidad de energía que estos sistemas producen.

Sistemas centralizados conectados a la red

En estos sistemas, la energía obtenida no se almacena sino que se provee directamente a la red eléctrica nacional. Esto implica por una parte que el banco de baterías ya no es necesario y por otra parte, que se necesita de un equipo especial para adaptar la energía producida por los paneles a la energía de la red.

Este tipo de sistemas provee energía eléctrica a núcleos urbanos que ya cuentan con una red de distribución de energía. Las aplicaciones inmediatas son la venta de energía eléctrica o la reducción de la facturación mensual. Esta es una posibilidad muy interesante para inversiones privadas en el sector de energía limpia.

El uso de esta tecnología es reciente en el país, pero existen experiencias interesantes en España y Alemania que permiten suponer un desarrollo rápido de estos sistemas. Parece ser que la tecnología ha alcanzado un nivel de madurez aceptable, para el mercado nacional.

3.2.4.2. Aspectos ambientales

El mal uso y manejo de esta tecnología puede tener efectos dañinos al medio ambiente. Se sugieren algunas recomendaciones que se deben atender para evitar daños ambientales:

- Los sistemas fotovoltaicos deben ser instalados correctamente para evitar su fallo prematuro, de lo contrario ocasionará el abandono de los equipos y su posible deterioro. No tiene sentido invertir en equipo de alta tecnología si éste no será utilizado durante muchos años.
- Debe existir un programa eficaz de retiro y reciclaje de baterías: las baterías fotovoltaicas abandonadas a la intemperie después de cumplir su vida útil ocasionarán contaminación, por lo que es necesario elaborar un programa para el desecho de las baterías.
- El derrame de la solución de ácido sulfúrico de las baterías representa un peligro para la piel de las personas y para el suelo. En la mayoría de los casos, esta contaminación se produce cuando se abandona irresponsablemente su mantenimiento.

3.2.5. Energías abastecidas por sistemas mixtos

Cuando nos referimos a un sistema híbrido, estamos hablando de la unión de dos o más sistemas de generación de energía eléctrica, ya sea en parte por combustibles fósiles y en parte por fuentes renovables, o por sistemas híbridos completamente renovables, estos últimos permiten la autosuficiencia de la red eléctrica, combinan una fuente continua, para cubrir la necesidad energética de base y para cubrir los picos de potencia solicitada.

Los sistemas híbridos permiten aprovechar los recursos renovables existentes en el territorio, constituyendo una concreta opción compatible con el medio ambiental y social.

Los beneficios desde el punto de vista ambiental son notables: actuación de una política de regionalización de la producción, contribución a la diversificación de las fuentes, disminución de la dependencia energética de

fuentes convencionales de la zona afectada por el proyecto, y disminución de emisiones de sustancias contaminantes y causantes del efecto invernadero.

3.2.6. Implementación de sistemas de depuración

3.2.7. Procesos de Oxidación Avanzada (AOPs)

Una gran cantidad de estudios recientes sobre el tratamiento de aguas residuales, se centran en la oxidación de los contaminantes orgánicos persistentes disueltos en el agua, mediante procesos biológicos convencionales. Los métodos basados en la oxidación química o fotoquímica de dichos contaminantes constituyen un grupo de nuevas tecnologías denominadas genéricamente Procesos de Oxidación Avanzada.

Los Procesos de Oxidación Avanzada (AOPs “Advanced Oxidation Processes”) son procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Estos procesos son especialmente útiles como pre-tratamiento antes de un tratamiento biológico frente a contaminantes resistentes a la biodegradación o como proceso de pos-tratamiento para mejorar las características de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores. (Lucas M.S.; Dias A.A.; Sampaio A.; Amaral C.; Peres J.A. (2007); Scott J.P.; Ollis D.F. (1995); Tantak N.P.; (2006)

La primera publicación sobre este proceso de degradación de contaminantes en fases tanto acuosa como gaseosa, se debe a Carey y aparece en 1976. J.H. Carey, J. Lawrence y H.M. Tosine, Bull. (1976).

Desde entonces, un análisis histórico de la evolución del desarrollo del proceso fotocatalítico para la purificación de aguas permite identificar cuatro etapas claramente diferentes. En una primera etapa con escasas publicaciones, aproximadamente entre 1976 y 1985, sólo unos pocos grupos científicos trabajan en el tema; no se vislumbra todavía una aplicación concreta.

La segunda etapa, de mediados de la década de los 80 y hasta los primeros años de la década de los 90, coincide con una creciente preocupación e inquietud de la comunidad científica internacional sobre temas

medioambientales; en ella se plantea la posibilidad de aplicar este proceso al tratamiento de contaminantes en agua. Al-Ekabi y N Serpone, J. Phys. (1988). A. Hussain y N. Serpone, J. Phys. (1988)

La tercera etapa, que se puede enmarcar entre mediados y finales de la década de los 90s. Se registra una profusión de resultados contradictorios, y los estudios de investigación básica y de sus aplicaciones generaron un debate sobre las posibilidades reales de aplicación del proceso.

La cuarta etapa, en la que nos encontramos actualmente, se caracteriza por una visión más conservadora y realista de las posibilidades de la tecnología asociada, enfocada en aquellas aplicaciones iniciales que parecen más prometedoras. Blanco G, Malato R, y colegas (2001)

3.2.7.1. Aspectos técnicos

Debido a la gran cantidad de AOPs que existen y a la posibilidad de combinarse entre ellos, resulta algo difícil clasificarlos. Aunque se podrían clasificar en **procesos fotoquímicos y no fotoquímicos**, en función de la utilización o no de radiaciones luminosas en el proceso.

En la tabla siguiente se indican algunos de los más utilizados:

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ozonización ▪ Ozonización con H₂O₂/O₃. ▪ Procesos Fenton (Fe²⁺/H₂O₂) y relacionados ▪ Oxidación electroquímica ▪ Radiólisis y tratamiento con haces de electrones ▪ Plasma no térmico ▪ Descarga electrohidráulica y ultrasonidos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ultravioleta de vacío. ▪ UV/H₂O₂. ▪ UV/O₃ ▪ Foto-Fenton y relacionadas ▪ Fotocatálisis heterogénea: <ul style="list-style-type: none"> - Con semiconductores. - Con sensibilizadores orgánicos o complejos de metales de transición.

Tabla N.4. Procesos fotoquímicos y no fotoquímicos

Fotocatálisis heterogénea

Para un adecuado seguimiento del proceso fotocatalítico se utiliza una amplia variedad de mediciones químicas previas al proceso; las más importantes se describen brevemente a continuación.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Es la medida del oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica susceptible de oxidación contenida en una muestra. Su determinación se basa en la oxidación enérgica de la materia orgánica e inorgánica que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido con una solución valorada de dicromato de potasio. Los valores de este parámetro están asociados al grado de avance de la oxidación de los contaminantes, por lo que la determinación seriada de DQO es una herramienta útil de seguimiento del proceso.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Este parámetro se obtiene mediante una prueba empírica estándar, y mide la cantidad de oxígeno utilizado para la biodegradación de materia orgánica e inorgánica contenida en una muestra. El oxígeno se consume también en la oxidación de materia inorgánica como sulfuros o sales ferrosas. La prueba usa un tiempo fijo de incubación; la medición de oxígeno consumido en un período de 5 días (DBO5) es la más comúnmente empleada.

Carbono Orgánico Total (COT). El carbono orgánico total mide la cantidad de dióxido de carbono producida en la mineralización total de una muestra. A diferencia del DQO, su valor es independiente del estado de oxidación de los compuestos presentes en el sistema. Blanco y colegas (2001); Blake D.M. (1999).

Concentración máxima orgánica de varios cientos de mg L-1. Los procesos de fotodegradación son razonablemente eficientes cuando la concentración de los contaminantes es baja o media, hasta unos pocos de cientos de ppm de orgánicos. Si bien el límite varía con la naturaleza de los contaminantes, la fotocatalisis no es normalmente una opción conveniente si las concentraciones superan el valor de 1 gr L-1 (a menos que se recurra a una etapa previa de dilución).

La Figura siguiente muestra una clasificación de las distintas tecnologías existentes para el tratamiento de contaminantes en agua, entre ellas los procesos de fotocatalisis. En la actualidad, la degradación fotocatalítica de la práctica mayoría de contaminantes orgánicos que aparecen normalmente disueltos en agua ha sido extensamente estudiada.

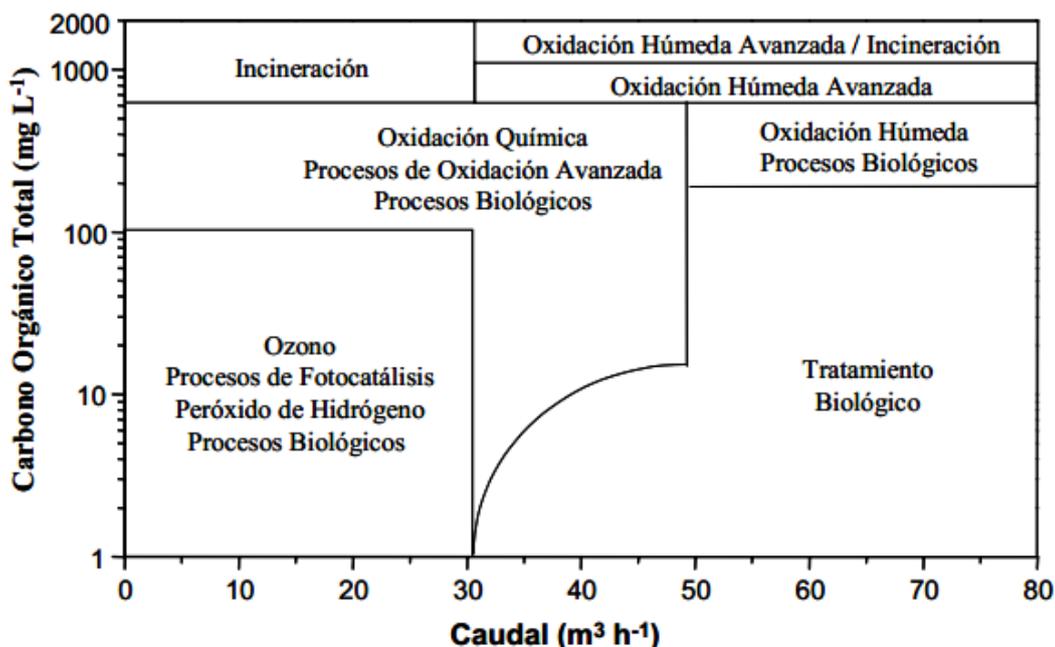


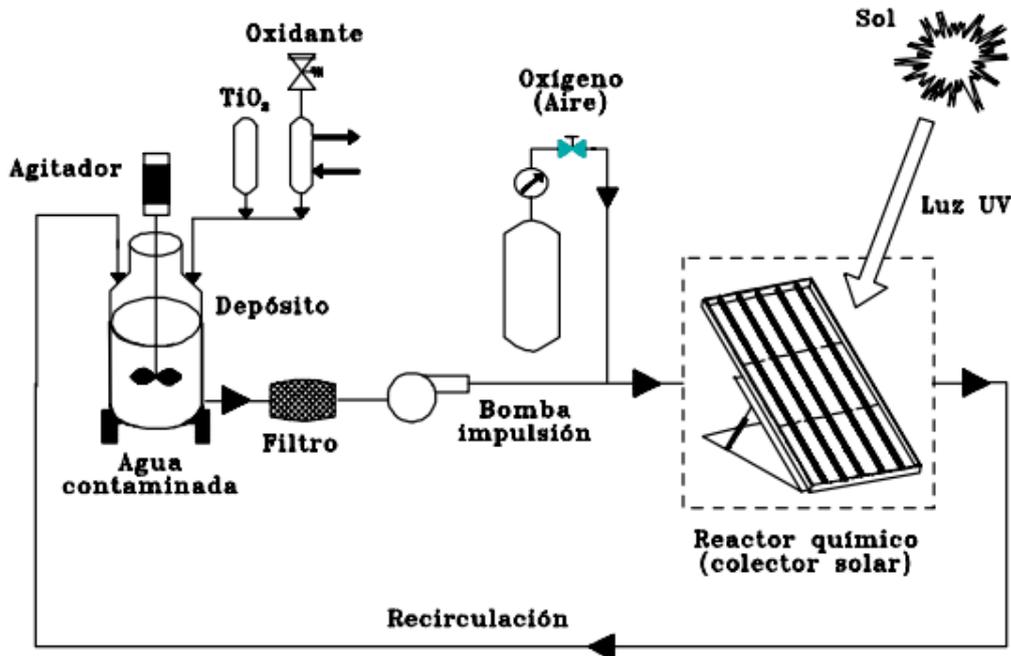
Grafico N.7. Fuente: <http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/cyted/08cap03.pdf>

Fotocatálisis con TiO₂

El dióxido de titanio es un producto muy utilizado como pigmento, bloqueador solar, en cosmética, como relleno en comprimidos vitamínicos, etcétera.

Se presenta en tres formas cristalinas: anastasa, rutilo y broquita, siendo las dos primeras las más comunes y la anastasa la más efectiva en el tratamiento de aguas residuales.

Abajo un esquema de fotocatalisis con dióxido de titanio como catalizador.



Esquema N.3. Fuente:

<http://horus.psa.es/webeng/solwater/files/CYTED01/08cap03.pdf>

Un gran número de parámetros influyen tanto cualitativa como cuantitativamente en el proceso de oxidación-reducción fotocatalizado y resultan determinantes en la eficiencia global de la reacción. Blanco J.; Malato S.; Estrada C.A.; Bandala E.R.; Gelover S.; Leal T. (2001); Blesa M.A.; Sánchez B. (2004)

Dentro de estos parámetros podemos mencionar los siguientes:

PH

Normalmente, el proceso de fotocatalisis es más eficiente en medio ácido $3 < \text{pH} < 5$. El pH afecta a las propiedades superficiales del catalizador y a la forma química del compuesto a degradar, y ello se manifiesta en alteraciones de la velocidad de degradación y en la tendencia a la floculación del catalizador.

Características y concentración del catalizador

Son características ventajosas para un fotocatalizador una alta área superficial, una distribución de tamaño de partícula uniforme, forma esférica de las partículas y ausencia de porosidad interna.

En cuanto a la concentración de catalizador, el óptimo es aquel en el que todas las partículas están iluminadas y no existe un exceso que haga efecto pantalla y enmascare parte de la superficie de las partículas.

Temperatura

La velocidad de las reacciones fotocatalíticas no se modifica apreciablemente con la variación de la temperatura del sistema, incluidos los ensayos llevados a cabo utilizando radiación solar. Este comportamiento es típico de reacciones iniciadas fotoquímicamente, por absorción de un fotón.

Diseño del reactor

Los parámetros derivados del diseño y tipo del reactor juegan un importante papel en el resultado final de la reacción; factores como geometría, óptica, distribución de luz, tipo de flujo, etcétera, influyen en el rendimiento final del proceso.

Los primeros fotorreactores solares utilizados para aplicaciones fotoquímicas se desarrollaron alrededor de 1990 y estaban compuestos por captadores cilindro parabólicos (PTC, en su acrónimo inglés), basados en los captadores tradicionalmente usados en aplicaciones termosolares (Minero et al., 1993). Sin embargo, estos fotorreactores pronto quedaron en desuso dado que presentaban desventajas notables entre las que destacan sus elevados costes de inversión y mantenimiento, la limitación de aprovechar únicamente la radiación solar directa y las bajas eficiencias óptica y cuántica (Malato et al., 2002).

No obstante, son mucho más adecuados para aplicaciones fotocatalíticas. En este contexto se han investigado varias geometrías diferentes entre las que destacamos:

- a) Película en cascada: el fluido cae lentamente sobre una placa inclinada iluminada con un catalizador unido a la superficie (Wyness et al., 1994).
- b) Colector de placa plana: el fluido circula entre dos placas planas separadas por una pared (Wellet et al., 1997).

- c) Estanque solar (Wyness et al., 2004; Giménez et al., 1999).
- d) Captador parabólico compuesto (CPC): Ampliamente utilizados en aplicaciones fotocatalíticas (Blanco et al., 2000).

De entre todas ellas, los CPC han resultado ser la mejor alternativa para aplicaciones fotocatalíticas, ya que son sistemas híbridos entre los PTC y los captadores sin concentración que aprovechan las ventajas de ambas configuraciones (Romero et al., 1999; Blanco et al., 2000).



Fotografía N.14. Reactor fotocatalítico. Fuente:
<http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/50084-Fotocatalisis-solar-para-eliminacion-de-contaminantes-emergentes.html>

3.2.7.2. Aplicaciones

El desarrollo de la tecnología de fotocátalisis solar se inició a finales de los años 80, partiendo de los diseños y sistemas ya existentes para procesos térmicos de baja y media temperatura (fundamentalmente colectores cilindro-parabólicos y sistemas sin concentración).

Con estas premisas, a fines de los años 80 el National Renewable Energy Laboratory (NREL, USA), comenzó sus experiencias de Fotocatálisis Solar en los Laboratorios Sandia (Albuquerque), donde fue desarrollado el

primer sistema solar para llevar a cabo experimentos de tratamiento de agua. Posteriormente fue instalado otro sistema en los Laboratorios Livermore (California). C.S. Turchi, J.F. Klausner, D.Y. Goswami y E. Marchand, (1993).

En 1990, el CIEMAT (España) inició también un programa de investigación en la Plataforma Solar de Almería (PSA) como consecuencia del cual se instaló un sistema experimental para la realización de ensayos y el desarrollo tecnológico del proceso para permitir su aplicación a problemáticas industriales

Otro ejemplo relevante lo constituye la instalación en Arganda del Rey (Madrid, España), en 1999, de la primera Planta Industrial de Fotocatálisis Solar que se ha instalado en el mundo (fotografía siguiente). La energía solar se capta mediante colectores tipo Cilindro Parabólico Compuesto (CPC) diseñados y optimizados para este proceso.

La planta se abastece mediante gravedad un pequeño depósito para recirculación y el conjunto del circuito hidráulico y los colectores solares con el agua a tratar proveniente de un depósito de almacenamiento.

Cuando el sistema de reactores se llena, se recircula el agua a través del reactor solar, que supone el 75% del volumen total del circuito de tratamiento, hasta que se alcanza la destrucción deseada. El catalizador (TiO_2) y los aditivos químicos necesarios se preparan por separado en pequeños depósitos y se introducen de forma progresiva en el circuito de tratamiento mediante una pequeña bomba, para garantizar una homogenización completa del catalizador. Una vez que se obtiene la destrucción deseada, el agua se transfiere al tanque de separación del catalizador, y el circuito de tratamiento se llena otra vez con otra carga de agua contaminada, comenzando nuevamente el proceso de tratamiento.

Esta tecnología ha sido desarrollada por un consorcio industrial europeo coordinado por el CIEMAT (España), dentro de un proyecto de investigación financiado por la Comisión Europea.

3.2.8. Filtros con zeolita

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos cristalinos. La primera zeolita se describió en 1756, por Cronstedt, un mineralogista sueco, que

les dio el nombre de origen griego “piedras hirviendo”, refiriéndose a la evolución del vapor de agua cuando la roca se calienta. Actualmente se conocen muchos tipos de zeolitas tanto naturales como artificiales.

Las referencias que se conocen del uso de zeolitas naturales en tratamientos de agua corresponden a los investigadores Rudenko (1983) y Tarasevich (1989) los cuales reportan su uso como material filtrante.

A mediados de 1982 vino a residir a Costa Rica Ronald Boyd, aficionado a los minerales, procedente de Canadá. Desde años atrás se dedicaba a la recolección de minerales en Nueva Escocia y Canadá. Empezó a recolectar minerales en nuestro país y a clasificar las zeolitas, dedicando especial atención a la zona sur del Valle Central.

Boyd, conoció a Rudy Tschernich, prestigioso investigador estadounidense, este último publicó en 1992 “Zeolites of the World”, un estudio amplio y detallado sobre este grupo de minerales y en el cual se incluyen las ocurrencias de zeolitas en nuestro país proporcionadas por Boyd.

En el artículo “Preliminary report of the second occurrence of tschernichite” (Tschernich & Boyd, 1993) definen a Pedernal de Puriscal como el segundo lugar a nivel mundial donde aparece un tipo de zeolita conocida como tetragonal bipiramidal.

Posterior a estas publicaciones se conocen nuevos aportes relacionados a la aplicación de zeolitas como filtros depuradores donde destacan las publicaciones realizadas por la Master Svetlana Nikolaeva y colegas a conocer:

1. Kinetics of anaerobic degradation of screened dairy manure by upflow fixed bed digesters: effect of natural zeolite addition. J. Environ. Sci. Health, (2009).
2. Treatment of screened dairy manure by upflow anaerobic fixed bed reactors packed with waste tyre rubber and a combination of waste tyre rubber and zeolite: Effect of the hydraulic retention time, 2008

3. Diseño y fabricación de un sistema modular compacto de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales de fácil manejo. Revista CIEMI N 53 (2005)

3.2.8.1. Aspectos técnicos

Los poros altamente cristalinos de la zeolita, se consideran un tamiz molecular, de modo que al pasar las aguas duras, las moléculas más pequeñas se quedan y las más grandes siguen su curso, lo cual permite que salga un líquido con cierto grado de depuración, para este caso se analizará la opción de utilizarlo como filtro dentro del proceso de depuración final.

La zeolita natural ofrece un efecto superior al de la arena o al de los filtros de carbón, como tratamiento depurador del agua. La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras. Las zeolitas están cargadas negativamente de forma natural, por lo que pueden adsorber cationes, como metales pesados y amoníaco. También pueden absorber algunos contaminantes orgánicos y olores no deseados. Andrews, 1993.

Las zeolitas más empleadas en la depuración de aguas residuales son mordenita, chabazita, erionita, natrolita y zeolitas sintéticas.

A continuación se muestran las diferentes formas en que se pueden encontrar las zeolitas en su estado natural:

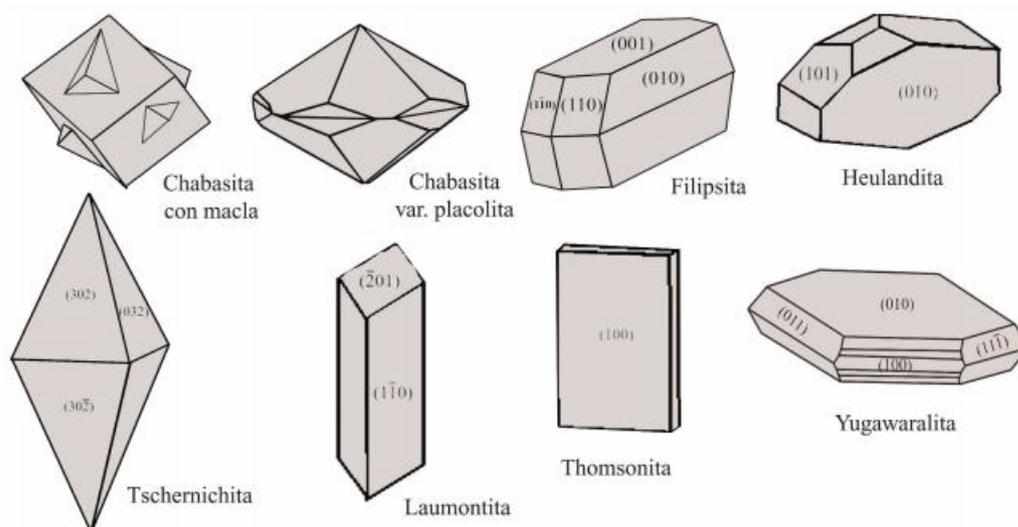


Imagen N.26. Distintos tipos de zeolitas Fuente:

http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista/to_pdf/revista/31/31-ZELEDON.pdf

3.2.8.2. Aplicaciones

Dentro de las aplicaciones que tienen las zeolitas están los siguientes:

- Tratamiento de aguas residuales.
- Potabilización de agua.
- Tratamiento de residuos de granjas.
- Control de contaminación.
- Desodorizándote.
- Deshumificadores.
- Cuidado de mascotas

Con respecto a su empleo como material depurante, se ha determinado sus características físico-mecánicas y químicas, las cuales cumplen con los valores establecidos para los materiales filtrantes y la granulometría recomendada es de 1 a 3 mm.

En la imagen siguiente se muestra una caja de concreto conteniendo zeolitas como depurador.



Fotografía N.15.Tanques con zeolitas. Fuente:

<http://www.emmexico.com/fosa.html>

Dentro del desarrollo de estas tecnologías en el país podemos mencionar el proyecto de planta de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros de zeolitas, en el Colegio Agropecuario de San Carlos durante un período de aproximadamente año y medio entre enero de 1999 a marzo del 2000 este proyecto fue coordinado por la master Svetlana Nikolaeva y fue realizado conjuntamente entre la Universidad Nacional y el Colegio Agropecuario de Santa Clara en San Carlos con el apoyo financiero de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Para este proyecto se diseñó y se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales porcinas con la utilización del reactor de biodigestión anaerobia de lecho fijo (FALF) y dos filtros de zeolitas.

En la imagen siguiente se muestra un sistema de depuración experimental utilizando también dos filtros con zeolitas en la parte superior de un sistema mixto construido con materiales metálicos en el Laboratorio de Materiales Industriales (LAMI) de la Universidad Nacional UNA.



Fotografía N.16. Planta de tratamiento experimental utilizando filtros con zeolita, Universidad Nacional UNA. Fotografía A. Hidalgo. 2012

3.3 Fase 3 – Selección del sistema de abastecimiento energético y de depuración a implementar

3.3.1. Posibles propuestas

Sistematizando la información recopilada para las fases anteriores, se puede concluir que hay distintos sistemas y mecanismos que se pueden implementar para que la planta de tratamiento de aguas residuales funcione de una manera más eficiente en términos tanto energéticos como ambientales, dado que dicha planta es administrada por el gobierno local del Cantón de la Unión e investigando a fondo sobre normativas que tienen que ver con eficiencia energética, podemos mencionar que dentro del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones se encuentra la Dirección de gestión de calidad ambiental la cual ha creado varias Herramientas para la elaboración de Programas de Gestión Ambiental Institucional (PGAI). Dentro de la que encontramos la Guía para la gestión de la energía y la Guía para la elaboración de Programas de Gestión Ambiental Institucional, ambos documentos orientados a las instituciones públicas bajo el Decreto Ejecutivo No. 36499-S-MINAET de la Comisión Técnica Evaluadora (MINAET – Ministerio de Salud) San José, Costa Rica 2011. En esta última cita lo siguiente:

“En el tema de Cambio Climático, Costa Rica mediante la Ley N° 7414 aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Gaceta No. 126 del 4 de julio de 1994). Posteriormente en marzo del 2002, se ratifica el Protocolo de Kioto mediante la Ley No 8219 (Gaceta No 127 del 3 de julio de 2002). De esta forma el país se compromete a tomar acciones concretas para mitigar el cambio climático y facilitar la adaptación al mismo.

Adicionalmente, con el fin de agilizar los mecanismos de toma de decisiones y establecer los controles de monitoreo que permitirán al país alcanzar la carbono neutralidad en el 2021, se establece la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y en el marco de ésta, mediante Acta número 056 2007-2010 del Consejo de Gobierno, se solicita a todas las instituciones públicas y se insta a los Gobiernos Locales e instituciones autónomas, elaborar y poner en ejecución un plan de acción

con metas claras que contemple los seis ejes de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC).’’

Guía para la elaboración de Programas de Gestión Ambiental Institucional.
Decreto Ejecutivo No. 36499-S-MINAET de la Comisión Técnica Evaluadora
(MINAET – Ministerio de Salud) San José, Costa Rica 2011

Dicha directriz va de la mano con el planteamiento de este estudio, en cuanto al interés por parte de las instituciones públicas de abordar estos temas de la mejor manera y en efecto se ha visto dicho interés por parte de funcionarios municipales con los que se ha tenido contacto, buscando soluciones a dicha problemática.

Dado lo anterior y para contar con opiniones acerca de las posibles propuestas a plantear, se ha realizado una visita a la planta de tratamiento el día 24 de mayo, acompañado con el señor Víctor León de Saratoga Biogás y el Ing. Rafael Martínez de Desarrollo Naturales para el Ambiente, me informan que este tipo de plantas de tratamiento tienen un consumo energético relativamente alto para poder funcionar adecuadamente y que además al parecer hay situaciones anómalas en los procesos de depuración y funcionamiento de la planta, esto debido a que se observan burbujas en uno de los tanques, que podrían ser de gas metano, esto indica que la aireación de las aguas no está en sus niveles adecuados y podría ser que necesite del funcionamiento simultáneo de los dos aireadores, en lugar de uno como se está haciendo actualmente.

Hablando con uno de los funcionarios encargados del mantenimiento, en esa misma visita, me informa que uno de los variadores de frecuencia volvió a dañarse, por lo que únicamente funciona uno de ellos, sobrecargando su capacidad, por lo que se detiene, produciendo con esto que no abastezca de energía al aireador que en ese momento está en funcionamiento, esto hace ver que efectivamente hay que hacer ciertas correcciones para que dichos procesos se lleven a cabo de la mejor manera, tomando en cuenta además la última prueba realizada a las aguas tratadas; además de las recomendaciones hechas por el Laboratorio de Aguas del AYA.

A partir de esta situación se recomienda tomar en cuenta dichas sugerencias para mejorar el tratamiento existente y al mismo tiempo tomar en consideraciones las propuestas formuladas para escoger la que mejor se ajuste a las necesidades actuales del proyecto.

Importante resaltar que si bien es necesario el funcionamiento de los dos aireadores simultáneamente, el costo energético será mucho mayor al actual, de aquí que tome más fuerza este estudio como posible solución a dicha problemática.

Por otra parte, haciendo referencia a la fase anterior los sistemas híbridos tanto de abastecimiento energético como de depuración de materia orgánica son los más apropiados como propuesta a formular y es así que tomando en cuenta estos dos factores, se plantean 4 posibles escenarios, expuestos a continuación:

1. **Sistema fotovoltaico:** como único sistema de abastecimiento energético de planta de tratamiento existente.
2. **Sistema híbrido. Fotovoltaico e hidroeléctrico a pequeña escala:** como abastecimiento energético de planta de tratamiento existente y filtro de zeolitas como depurador secundario.
3. **Foto reactores cilíndricos parabólicos compuestos (CPCs) empleando luz solar y TiO₂ como foto catalizador:** como pre tratamiento del proceso de degradación de materia orgánica y depurador secundario en planta de tratamiento y abastecimiento energético por medio de un sistema fotovoltaico.
4. **Captadores solares planos empleando luz solar y TiO₂ como foto catalizador:** como pre tratamiento del proceso de degradación de materia orgánica y tratamiento secundario en planta de tratamiento y abastecimiento energético por medio de un sistema fotovoltaico.

Dichas propuestas serán analizadas en cuanto a sus oportunidades y barreras para de aquí seleccionar la propuesta que mejor se ajuste al sistema de depuración actual, tomando en cuenta su eficiencia energética y su impacto ambiental; a continuación expondremos dicho análisis.

3.3.2. Ventajas e inconvenientes

1. **Sistema fotovoltaico:** como único sistema de abastecimiento energético de planta de tratamiento existente.



Fotografía N.17. Detalle de un captador solar fotovoltaico

Fuente: <http://ecolofera.com/freno-energia-fotovoltaica-espana/>

Ventajas del sistema de abastecimiento energético por sistema fotovoltaico

- Costa Rica dispone de abundante radiación solar. 1.400 KWh/m²-año promedio, aunque según mapas del brillo solar se cuenta con 5 a 6 horas para el área de estudio.
- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 25 años).
- El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo.
- Los sistemas fotovoltaicos han experimentado una reducción de precios que los hace más accesibles para las poblaciones rurales y se espera que sigan bajando.

- La tecnología de equipos y sistemas fotovoltaicos ha alcanzado un grado de madurez que posibilita su utilización para resolver confiablemente los problemas energéticos de nuestros países.
- En Costa Rica ya existen distribuidores de equipos fotovoltaicos que ofrecen sus productos y la instalación de los mismos.
- La instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales es simple, rápida y sólo requiere de herramientas y equipos de medición básicos.

Inconvenientes del sistema de abastecimiento energético por sistema fotovoltaico

- La inversión inicial es alta con respecto de la capacidad de pago de una gran mayoría de las familias rurales o de escasos recursos.
- La cantidad de energía producida es proporcional al área de instalación.
- La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas.

2. **Sistema híbrido. Fotovoltaico e hidroeléctrico a pequeña escala:** como abastecimiento energético de planta de tratamiento existente y filtro de zeolitas como depurador secundario.



Fotografía N.18. Detalle de una turbina banki para producción hidroeléctrica.

Fuente: <http://www.accessecosolar.com>

Ventajas del sistema de abastecimiento energético por hidroeléctrico a pequeña escala

- No emite gases de efecto invernadero y los impactos locales no son significativos.
- Disponibilidad del recurso: por las características climatológicas y topográficas, este recurso está disponible en la zona de estudio.
- Bajos costos de operación: no se requiere de combustibles y las necesidades de mantenimiento son relativamente bajas por lo que los gastos de operación son bajos.
- Esta tecnología tiene una alta eficiencia en la conversión de la energía potencial en el agua a energía mecánica y eléctrica (entre 75% y 90%), mayor que la eficiencia de otras tecnologías.

Inconvenientes del sistema de abastecimiento energético por hidroeléctrico a pequeña escala

- La inversión requerida está concentrada en el desarrollo inicial del proyecto, como por ejemplo en la ejecución de estudios, construcción de la obra civil y la compra del equipo electromecánico.
- Los caudales de agua pueden variar considerablemente durante las diferentes temporadas, esto tiene impacto en la generación de energía.
- Las pequeñas centrales hidroeléctricas, en particular las pequeñas centrales, requieren de estudios técnicos elaborados para conocer el potencial disponible y la factibilidad técnica. Esto implica un costo y un plazo significativo en la puesta en marcha del proyecto.

Ventajas del sistema de depuración por filtros de zeolitas

- Los filtros de arena eliminan partículas de un tamaño de hasta 40 micras. Los filtros de zeolita eliminan partículas de hasta 4 micras.
- Las zeolitas tienen una gran durabilidad y su vida útil es mucho más larga que la de la arena.
- La zeolita es un mineral que se extrae de la naturaleza, no requiere procesos químicos para su extracción.

Inconvenientes del sistema de depuración filtros de zeolitas

- Si bien su bajo costo de extracción es uno de sus beneficios a considerar, en el tanto se extraiga cerca del proyecto a plantear.
- Este tipo de minerales tienen que ser importados por lo que su costo y disposición son dos de las consideraciones a tomar en cuenta.

3. **Foto reactores cilíndricos parabólicos compuestos (CPCs) empleando luz solar y TiO₂ como foto catalizador:** como pre tratamiento del proceso de degradación de materia orgánica y depurador secundario en planta de tratamiento y abastecimiento energético por medio de un sistema fotovoltaico.



Fotografía N.19. Detalle de un colector cilíndrico parabólico compuesto CPC

Fuente: <http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/cyted/17cap11.pdf>

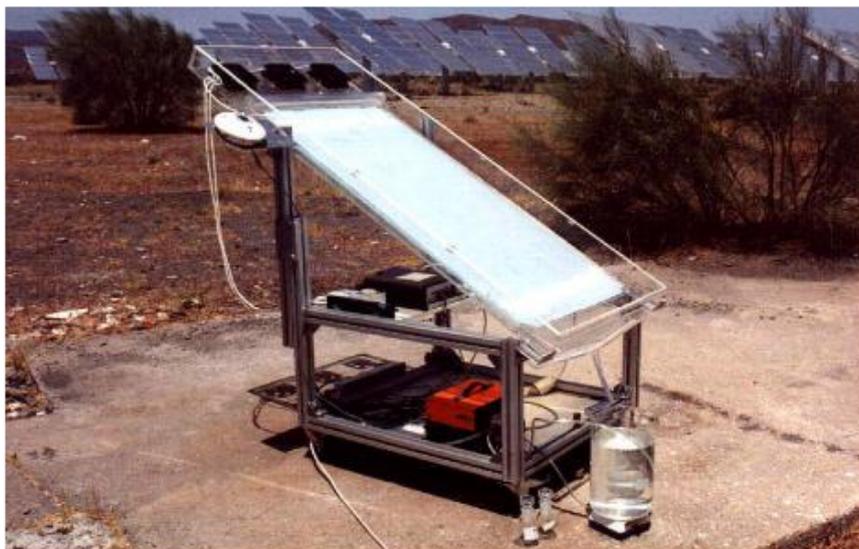
Ventajas de los reactores cilíndricos parabólicos compuestos

- Casi toda la radiación que llega al área de apertura del colector (no sólo la directa, también la difusa) puede ser recogida y estar disponible para el proceso fotocatalítico en el reactor; lo que hace que los procesos de degradación los realice de una manera mas eficiente.
- Para estos sistemas otra de sus ventajas es la ausencia de evaporación de las sustancias volátiles.

Inconvenientes de los reactores cilíndricos parabólicos compuestos

- El principal inconveniente de aplicabilidad de estos sistemas en función del contenido orgánico de las aguas, expresado como DQO (Demanda Química de Oxígeno). Está en que únicamente aguas residuales con un contenido orgánico inferior a algunos gramos por litro de DQO pueden ser susceptibles de ser tratadas mediante esas tecnologías.
- Hay que resaltar que los procesos fotocatalíticos pueden utilizar fuentes de irradiación artificiales (lámparas UV) como complemento auxiliar al sistema, produciendo con esto un gasto energético mayor.
- Por último y no por el más importante, el poco desarrollo de estos sistemas en el país, hace que se analice el tema relacionado al personal capacitado en la operación y mantenimiento de dichos sistemas, así como también la disponibilidad de dichos sistemas en el mercado nacional, es un factor a tomar en cuenta.

4. Captadores solares planos empleando luz solar y TiO₂ como fotocatalizador: como pre tratamiento del proceso de degradación de materia orgánica y tratamiento secundario en planta de tratamiento y abastecimiento energético por medio de un sistema fotovoltaico.



Fotografía N.20. Detalle de un captador solar plano

Fuente: <http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/cyted/17cap11.pdf>

Ventajas de los captadores solares planos

- Los captadores planos (reactores solares sin concentración, sistemas de un sol) poseen importantes ventajas ya que este tipo de fotorreactores solares, en principio, son más baratos que los CPCs ya que los costes de construcción pueden ser menores al ser sus componentes más simples.
- Además, al estar ligados la simplicidad del sistema con los costes de construcción, también se pueden reducir los costes por manteniendo y operación de dichos sistemas.

Inconveniente de los captadores solares planos

- Los reactores planos están formados por una placa inclinada hacia el sol por la que el agua a tratar fluye con el catalizador, para este caso el TiO₂, el cual se fija a la superficie de la placa. Estos captadores suelen estar abiertos a la atmósfera, por lo que no pueden ser utilizados para tratar aguas con componentes volátiles.
- Al igual que los sistemas CPCs, el poco desarrollo alcanzado de estos sistemas en el país, hace que sea un factor a tomar en cuenta, a la hora de poner en marcha este tipo de captadores.

3.3.3. Justificación y recomendaciones

El día 6 de junio del presente año, se realiza una reunión con la Máster Svetlana Nikolaeva y el Dr Shyam S. Nandwani (del departamento de física de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA); dichos profesionales están realizando investigaciones tanto de depuración de aguas como estudios de radiación solar, respectivamente; en primera instancia, comentándoles sobre las posibles propuestas y analizando que al haber ya construida una planta de tratamiento lo ideal es no dejarla de lado a la hora de tomarla en cuenta dentro de las posibles soluciones, en cuanto al sistema de abastecimiento energético, me proponen plantear el sistema fotovoltaico como abastecimiento energético de la planta existente en lugar de utilizar los dos sistemas tanto el fotovoltaico como el mini hidroeléctrico, esto debido a que el mantenimiento de los dos sistemas es más complejo que el de un solo sistema y en cuanto al tema de depuración, me indican que el tema de fotocátalisis solar no ha sido explorado

en el país y que más bien me plantean que si no estuviera construida la planta y que habría que empezar de cero, lo mas conveniente seria utilizar filtros de zeolita como depurador único de la planta, pero al no extraerse la zeolita en el país, la hace costosa al tener que importarla; como sustituto a este mineral se está investigando el uso de la piedra volcánica, mineral que si se encuentra con abundancia en el país, esto según conversaciones con el arquitecto René Torres del departamento de Investigación y Desarrollo de la empresa Ecotank Rotomolding S.A

Estas observaciones y recomendaciones hacen ver que la primera propuesta planteada, es la que mejor se ajusta al proyecto en mención. Tomando en cuenta sus ventajas y inconvenientes, esto por medio del análisis comparativo, lo cual determina que esta propuesta es la que tiene más peso a la hora de implementarla a las condiciones existentes de abastecimiento energético.

El sistema fotovoltaico ayudará a suplir la energía necesaria para abastecer energéticamente a los aireadores de la planta de tratamiento existente, esto tomando en cuenta consideraciones tanto desde el punto de vista ambiental como económico.

En el siguiente apartado se expondrá la propuesta de intervención además de los costos y viabilidad de la misma.

3.4. Fase 4 – Propuesta de intervención

3.4.1. Proyecto de intervención

Entre las opciones expuestas en la fase anterior, el sistema fotovoltaico como sistema de abastecimiento energético de planta de tratamiento existente, resulto ser el sistema mas apropiado, para ser incorporado al proyecto actual; siendo esta la propuesta de intervención, analizaremos los diferentes elementos tanto actuales como a proponer; esto para conocer la viabilidad del proyecto, a continuación se presenta un levantamiento actual de la planta de

tratamiento Los Geranios, dicha planta esta ubicada en un área de aproximadamente 450 metros cuadrados dentro de los cuales se planteará la colocación de un sistema fotovoltaico en estructuras independientes. Esto para abastecer la energía que actualmente utilizan los equipos que hacen funcionar la planta, detallados en capítulos anteriores, se adjunta un esquema de la localización de la planta de tratamiento así como la ubicación de cada una de sus partes.

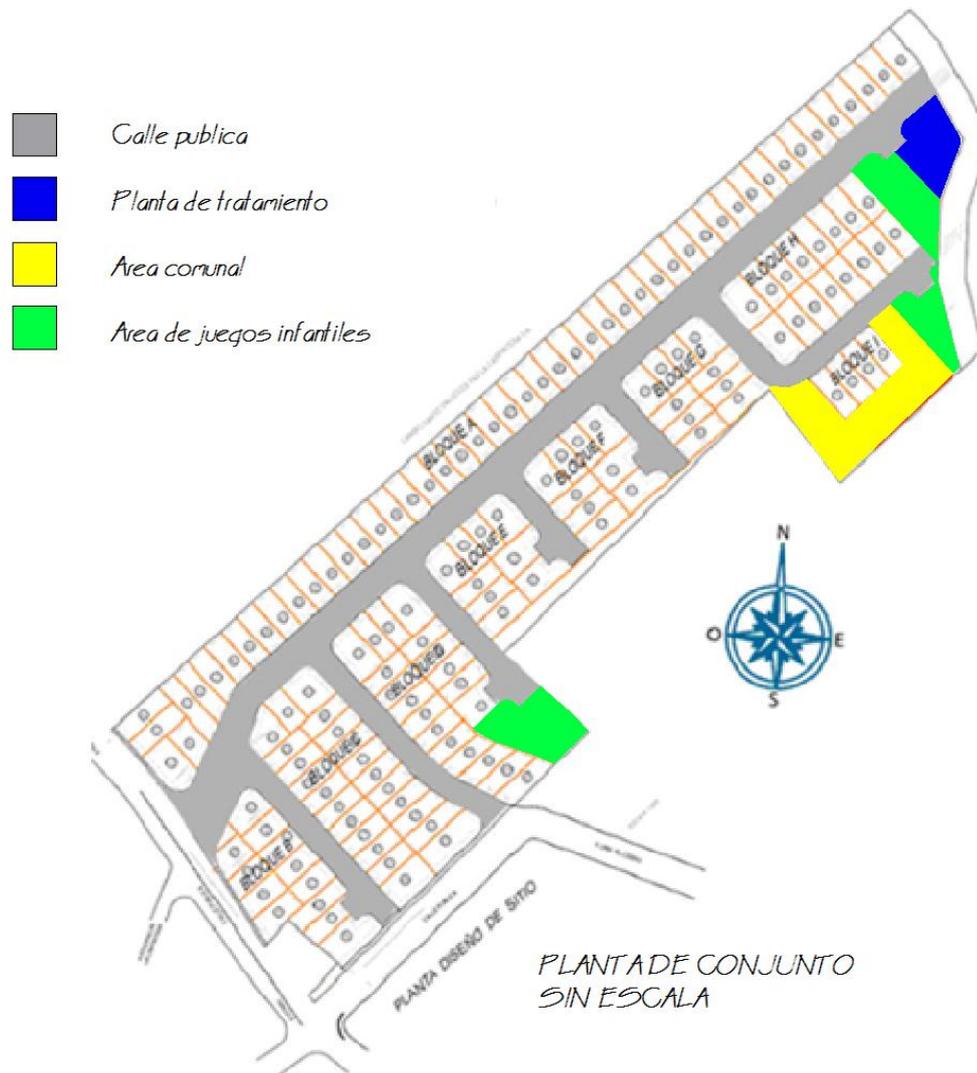


Imagen N.27. Ubicación de la planta de tratamiento en el proyecto residencial

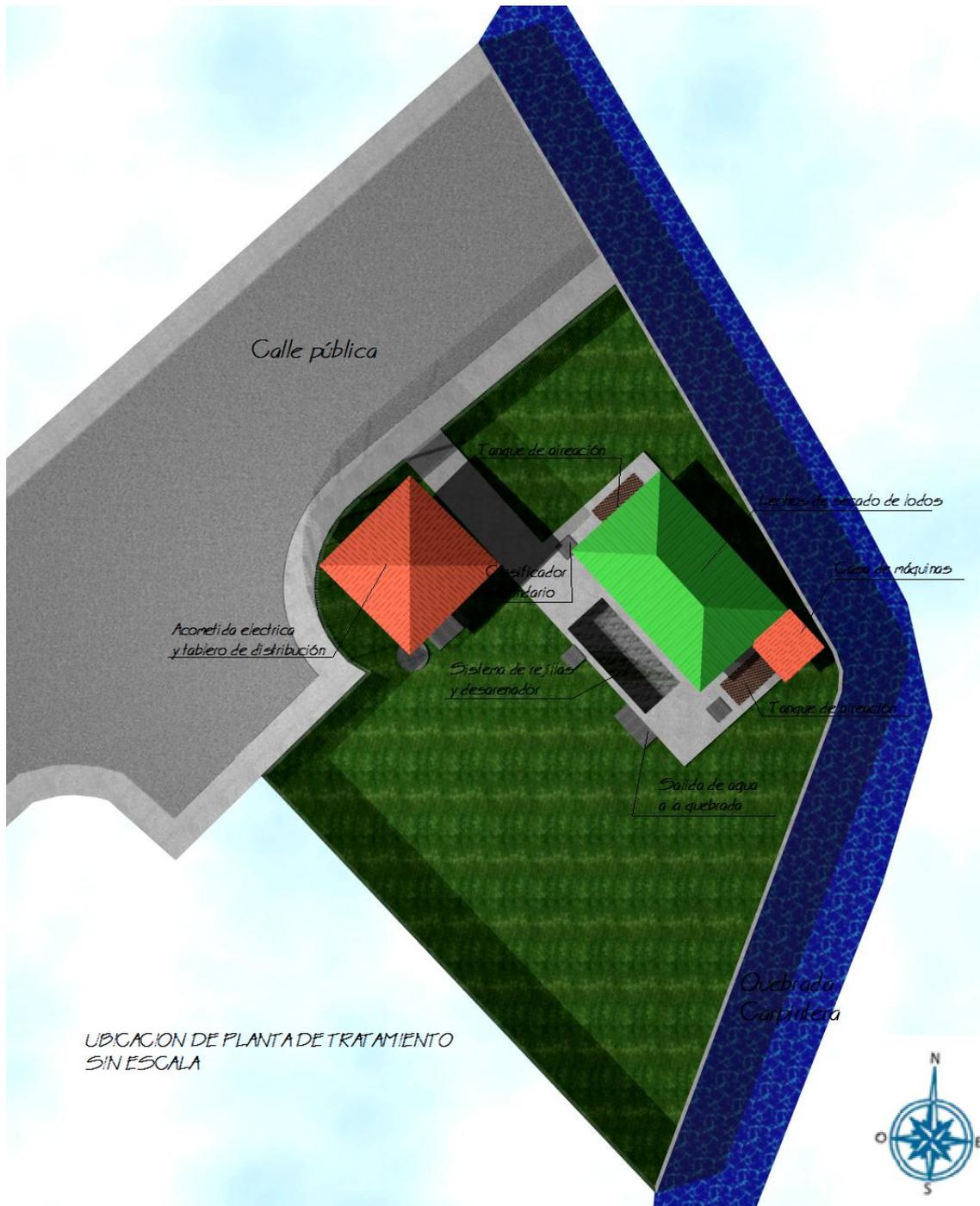


Imagen N. 28. Ubicación planta de tratamiento

En la imagen anterior se ubican y se identifican los diferentes componentes que conforman la planta, además se nota el espacio de área verde en la parte suroeste, en la cual pueden colocarse los paneles fotovoltaicos, ubicados en la imagen siguiente.

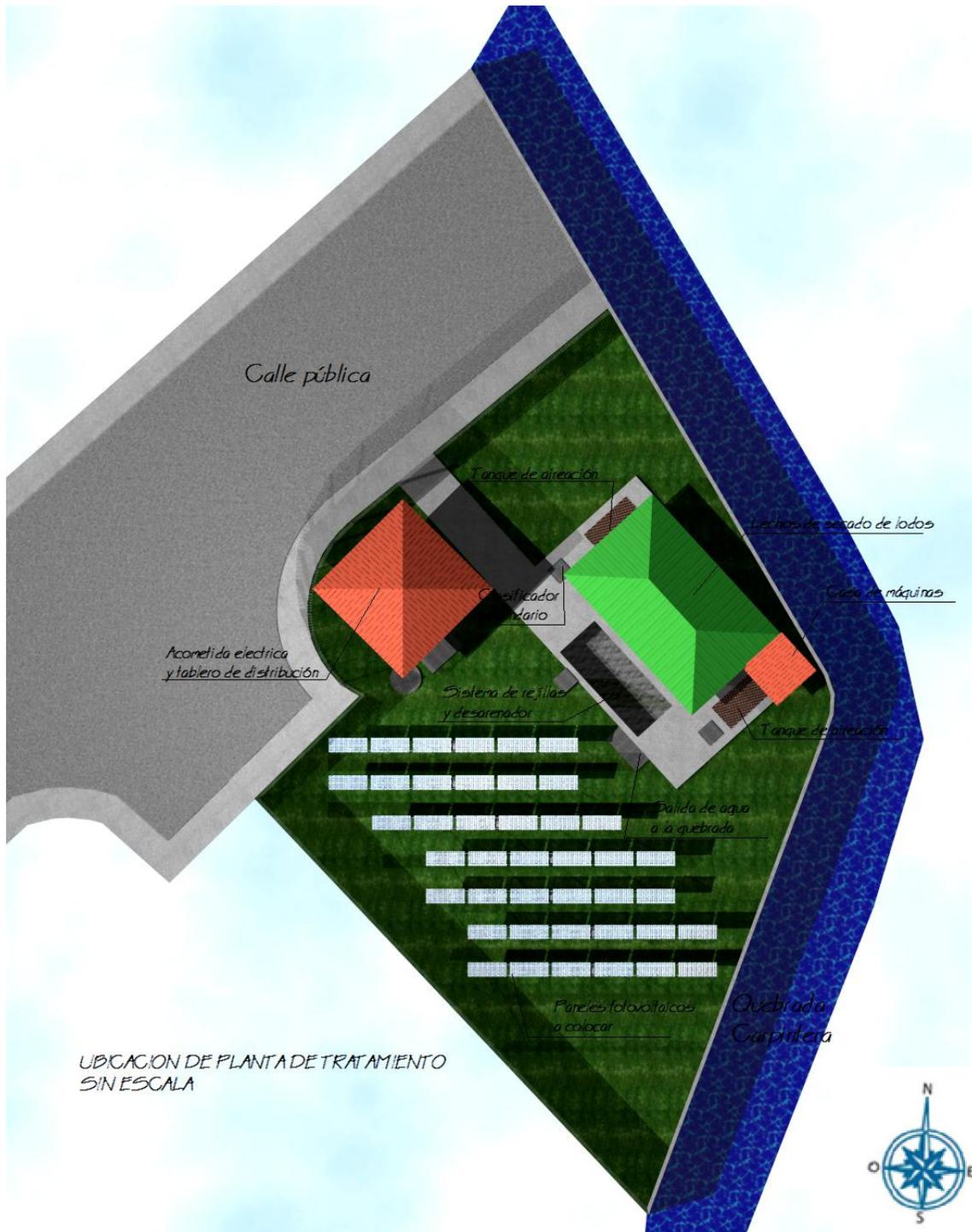
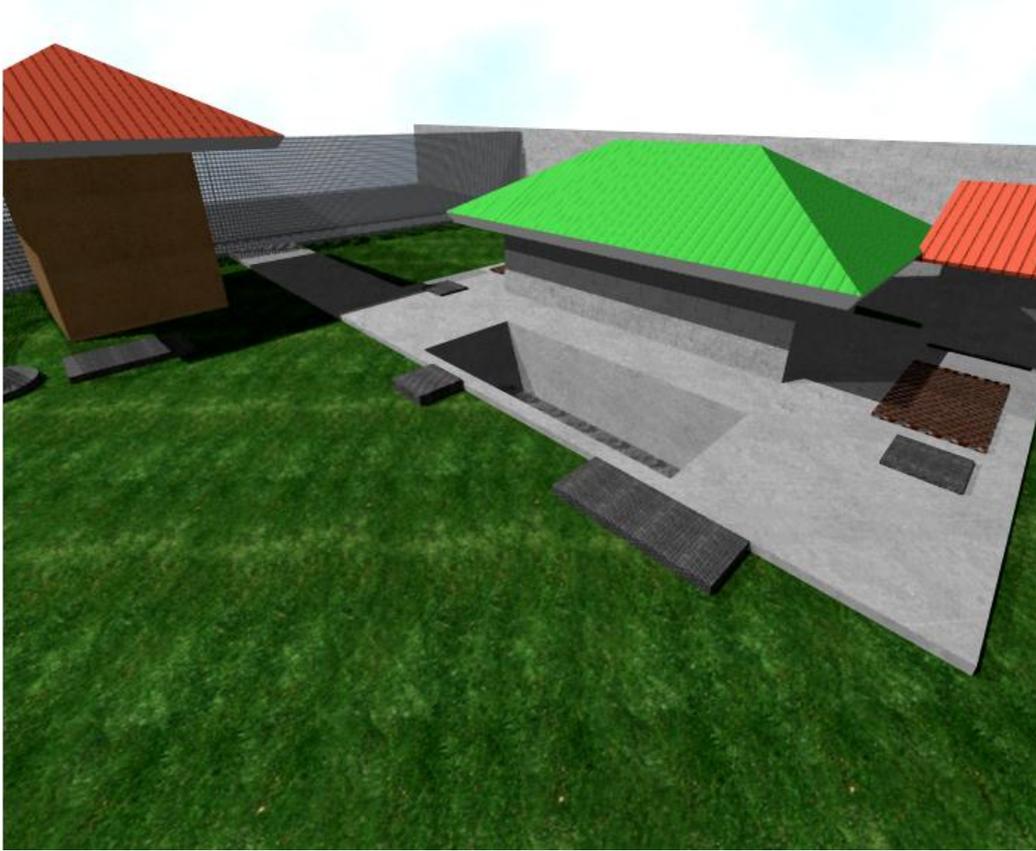
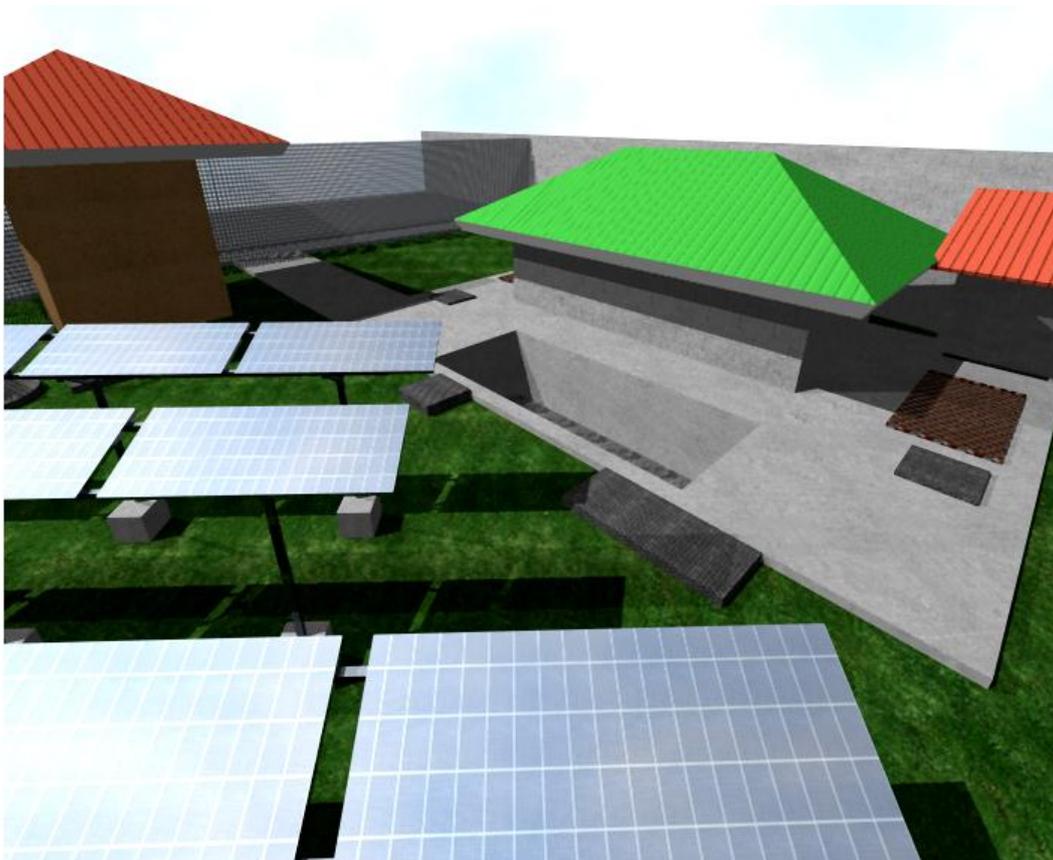


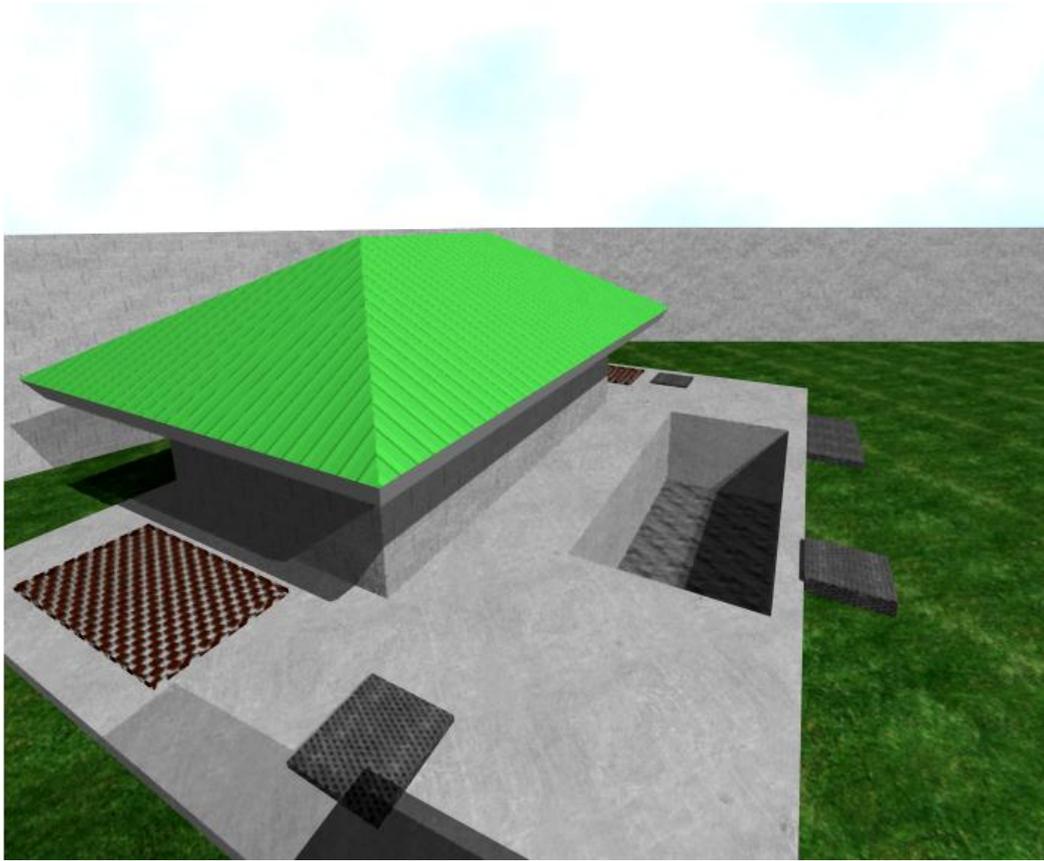
Imagen N.29. ubicación sistema fotovoltaico

Se colocarán 44 paneles fotovoltaicos orientados al sur con un ángulo entre 10 y 20 grados esto para tomar tanto la irradiación del sureste como del suroeste, dichos paneles serán colocados en una estructura metálica con acabado en pintura impermeabilizante para alargar su vida útil. Mas adelante se especifica la marca comercial y modelo del proveedor de dichos sistema.

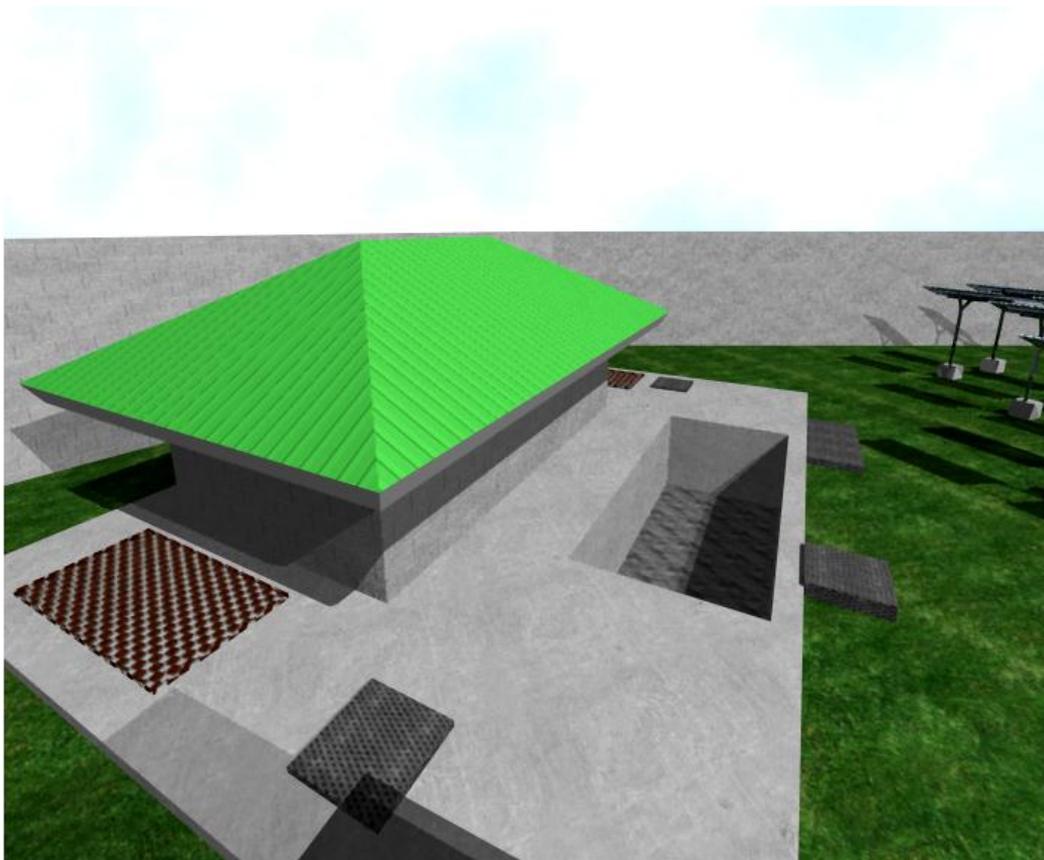


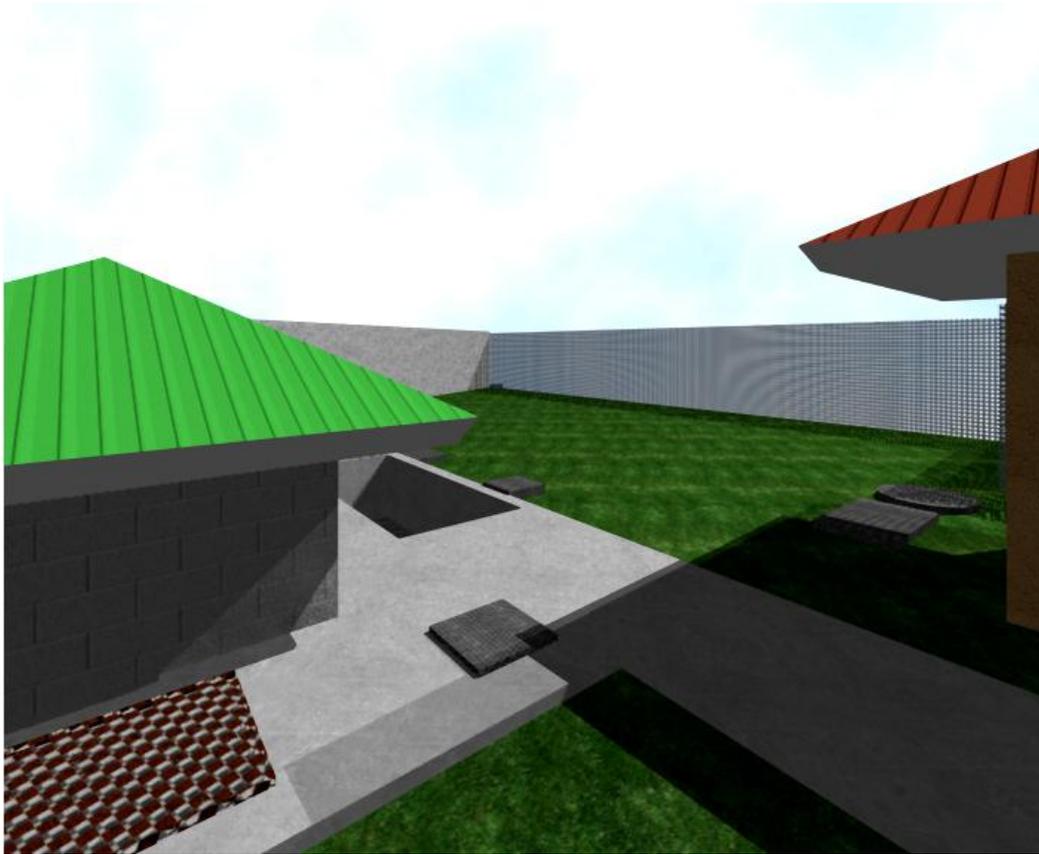
Imagenes N.30 y 31. Vistas aéreas sin la instalación y con la propuesta de intervención.



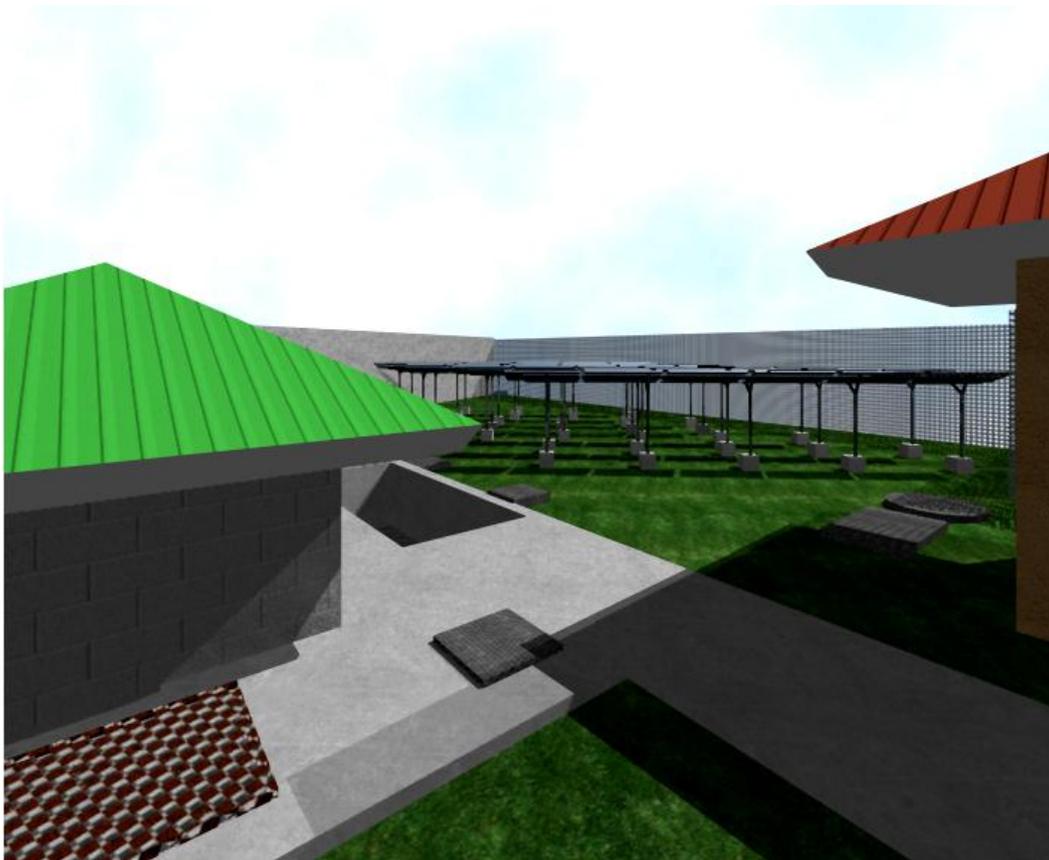


Imágenes N.31 y 32. Vistas del antes y después de la propuesta de intervención 1.





Imágenes N.33 y 34. Vistas del antes y después de la propuesta de intervención 2.



Tomando en cuenta que la compañía Nacional de Fuerza y Luz CNFL es la empresa que abastece de energía a la planta, se conversa con el ingeniero el ingeniero Francisco Gómez del Departamento de Innovación y Eficiencia, se le consulta acerca de algún proyecto que este conectado a la red de la compañía, él comenta que hay varios proyectos y que se plantea se puedan conectar más, esto debido a que el gobierno está a la espera de la aprobación del proyecto de **Ley de Contingencia Eléctrica**, en dicha ley se plantea la cogeneración eléctrica por parte de compañías privadas así como la normativa relacionada a generación y distribución energética.

El ingeniero Gómez nos comenta que la tramitación respectiva es sencilla y consiste en solicitar por escrito a dicho departamento el interés de conectarse a la red eléctrica de la compañía, dicha propuesta se estudia y se emite una respuesta de acorde con el interés de la C.N.F.L. Al parecer ellos se encargan de suscribir un tipo de contrato y se encargan de la instalación de un medidor bidireccional, esto tanto para recibir como abastecer energía a la red, vale destacar que al abastecer de energía la compañía, esta no cancela ningún monto por la producción energética sino, más bien se compensa la producción con el consumo del sistema.

Dado lo anterior partimos que el sistema fotovoltaico a instalar, es un sistema de 9,90 kw de potencia que es la potencia que utiliza la planta actualmente y para esta intervención se espera conectar dicho sistema a la red, por lo que se plantea eliminar el uso de baterías para almacenamiento de la energía, bajando con esto los costos de adquisición de dichas baterías; así como también un costo ambiental; para esto se solicito a la empresa **Pura Vida Energy Systems** una cotización del sistema a implementar, dicha empresa recomendó utilizar paneles fotovoltaicos tipo Canadian Solar CS6P-235, estos con garantía de 25 años y un sistema de micro inversores tipo Enecsys de 225W para cada panel solar, esto con el objetivo de garantizar la mejor captación energética por parte de los paneles, además el sistema a conectar cuenta con los siguientes componentes:

Sistema fotovoltaico de 9,90 Kw de potencia:

- 44 Paneles solares tipo CS6P-235W
- 44 Microinversores tipo Enecsys 225W
- 7 Unidades de distribución tipo Enecsys
- 2 Tapones contra agua tipo Enecsys
- 7 Cables de extensión tipo Enecsys CA
- 1 Cable conector a la red tipo Enecsys CA
- 1 Protección contra rayos tipo Delta LA302R
- 2 Breaker doble polo de 20A

En las imágenes siguientes se muestran algunas especificaciones técnicas de los paneles fotovoltaicos marca Canadian solar CS6P-235W donde nos detalla la potencia en watts, los amperios, el voltaje, el peso, entre otros datos relevantes para estimar el cálculo del número de paneles a colocar:



Canadian Solar Panels

Key Points:

- Incorporated in Canada but made in China
- Will withstand heavier snow load and wind conditions well

Where Made: China

Warranty: First 10 years at 90% output
25 years at 80%

Canadian Solar incorporated in Canada in 2001, but mainly manufactures its panels in China. Founded in 2001, it was successfully listed on NASDAQ Exchange by November 2006.

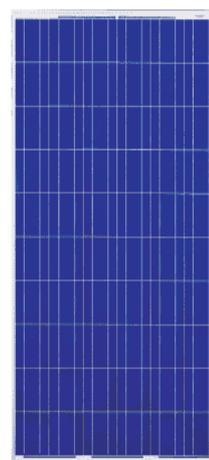
To date, Canadian Solar has established seven wholly-owned manufacturing subsidiaries in China, manufacturing ingot, wafer, solar cells and solar modules. In 2009, they opened a US Branch in San Ramon, California and a PV Research center in Suzhou, China.

Canadian Solar modules boast record tolerance ratios and have a 25-year performance warranty. Having passed a mechanical load test of 5400Pa (113 pounds per square foot), instead of the normal 2400 Pa (50 pounds per square foot), Canadian Solar panels will withstand heavier snow loads and higher wind-pressure than other solar panels.

As a result of a partnership they made in September 2009 with a research center in the Netherlands, they will soon be using metal wrap-through ("MWT") cells on Canadian Solar's panels. Canadian Solar is expecting to have higher efficiency ratings on their panels as a result.

Canadian Solar is the first manufacturer in the PV industry to apply state of the art automotive quality management system (ISO:TS16949) in the production of their panels.

See all [solar panels](#).



Canadian Solar Solar Panels

Canadian Model	Watts	Amps	Volts	Tolerance	Weight (lbs.)	Item	Price
Canadian Solar CSI CS6P-190	190	7.33	36	+/-2.5%	40.7	1262002	\$550.00
Canadian Solar CSI CS6P-220	220	8.09	36.6	+/-2.1%	44.1	1263002	CALL
Canadian Solar CSI CS6P-230	230	8.34	36.8	+/-2.1%	44.1	1264002	CALL
Canadian Solar CSI CS6P-235	235	7.9	29.8	+/-2.1%	44.1	1930002	CALL

Imagen N.35. Fuente: www.wholesolar.com/canadian-solar-panel.html



Canadian Solar CSI
CS6P-235 Solar
Panel



Imagen N.36. Fuente: <http://www.wholesolar.com/products.folder/module-folder/canadian/canadian-solar-csi-cs6p-235NE.html>

Enecsys Micro Inverters

SMI-S240W-60



Imagen N.37. Fuente: <http://www.solarchoice.net.au/blog/wp-content/uploads/Enecsys-Inverters-Australia-Data-Spec-Sheet.pdf>

3.4.2. Análisis financiero

El análisis financiero es una herramienta para evaluar en forma monetaria la inversión. Para realizar este análisis se debe realizar un análisis de costos tanto de inversión como de explotación de la planta, estos costos se detallan más adelante.

La inversión inicial de una instalación solar fotovoltaica es función de la potencia a ser instalada, por lo general se encuentra en el orden de los 5 US\$ por vatio instalado (US\$/W). Para esta propuesta se estima un sistema con una potencia de 9,90 Kw.

A continuación se detallan los costos de inversión de la intervención:

3.4.2.1. Costos de inversión

Según la oferta de venta e instalación del sistema fotovoltaico facilitado por la empresa Pura Vida Energy Systems, se adjunta dicha cotización donde se observa que el valor de todo el sistema instalado ronda los 43,560 dólares americanos y al tipo de cambio en colones rondan los 21.780.000 colones a estos gastos hay que sumarles los soportes estructurales y mano de obra de dicha obra, alarmas de seguridad, sistemas de monitoreo, además de otros gastos imprevistos que pueda tener el proyecto; en el cuadro N.6. Adjunto se observan las estimaciones de los costos de inversión en colones:

COSTOS DE INVERSION	
Descripción	Costo/colones
Sistema fotovoltaico instalado	21,780,000
Estructuras y mano de obra	9,750,000
Seguridad y monitoreo	2,350,000
Capacitación personal municipal	1,750,000
Otros gastos	1,110,000
Total de inversión	36,740,000



Pura Vida Energy Systems

3-101-635737 Costa Rica S.A.

Central Valley Office: 8627-6223

Guanacaste Office: 8735-1402

www.puravidaenergysystems.com

info@puravidaenergysystems.com

Project 10 kW System, Average Solar Energy, Costa Rica

Panel Specifications: Canadian Solar CS6P-235 Watt Panels

Certifications: IEC61701 "Salt Mist Corrosion Testing"

Ultra-reliable in corrosive atmosphere

25 Year Power Yield Warranty

Comprehensive third-party warranty insurance by "AM

Best-rated" insurance companies

Strong Frame Module 5400 pa Rated

IEC, UL, CEC, CE, MCS and ISO Certified

Scope of Project: 9.90 kilowatts

Shady System: 9.90 kilowatts, Enecsys Inverters, 20 Year Warranty

Enecsys Output limited to 225W per panel

44 Panels @ 225W = 9,900 W Total Output

Mounting Specifications: All steel mounting framework, painted

Stainless steel hardware and/or welded connections

Area covered by array = 78 square meters

Electrical Specifications: USA and Costa Rica codes compliant

Four @ 20A double pole breakers required

All other necessary cable and conduit included

Cost of Project: \$4.40 USD/Watt Installed = $\$4.40 \times 9,900 \text{ watts}$ = \$43,560.00

Applicable Taxes = Included

TOTAL COST = \$43,560.00

Payment Schedule: 40% upon agreement

40% upon equipment arrival

20% upon installation

Payment by Bank Transfer to BCR

Account Info: Pura Vida Energy Systems, S.A. Corriente, Dollars, 001-0296937-8

Imagen N.38. Cotización de un sistema fotovoltaico de 10Kw, facilitada por la empresa Pura Vida Energy Systems

3.4.2.2. Retorno de la inversión

Estimación de los posibles valores de producción energética y sus posibles ahorros económicos:

PRODUCCION ENERGETICA Y POSIBLES AHORROS								
	índice	Horas/Día	Promedio	Sistema	Produc.	Perdida	Perdida	Produc.
					Mensual	x calor	Mensual	Mensual
	Luminos.	Energía	Temp.	kW	kWh	%	kWh	kWh
Enero	0.574	5.5	27	9.9	1633.5	-2.58%	-42.14	1591.36
Febrero	0.574	5.5	28	9.9	1633.5	-3.87%	-63.22	1570.28
Marzo	0.596	5.5	29	9.9	1633.5	-5.16%	-84.29	1549.21
Abril	0.533	5.5	30	9.9	1633.5	-6.45%	-105.36	1528.14
Mayo	0.457	5.5	28	9.9	1633.5	-3.87%	-63.22	1570.28
Junio	0.406	5.5	26	9.9	1633.5	-1.29%	-21.07	1612.43
Julio	0.412	5.5	26	9.9	1633.5	-1.29%	-21.07	1612.43
Agosto	0.417	5.5	26	9.9	1633.5	-1.29%	-21.07	1612.43
Setiembre	0.441	5.5	25	9.9	1633.5	0.00%	0	1633.5
Octubre	0.471	5.5	25	9.9	1633.5	0.00%	0	1633.5
Noviembre	0.501	5.5	26	9.9	1633.5	-1.29%	-21.07	1612.43
Diciembre	0.517	5.5	26	9.9	1633.5	-1.29%	-21.07	1612.43
Promedio	0.49	5.5	26.83	9.9	1633.5	-2.37%	-38.63	1594.87

Cuadro N.7. Producción energética

Resumen:

Producción energética mensual promedio

1594,87 kwh

El costo promedio de la energía comprada a la C.N.F.L

100,00 colones / kwh

Promedio de ahorros mensuales

159.487,00 colones / mes

Proyección de ahorro anual

1.913.844,00 colones / año

Ahorro en 25 años (vida útil), a ritmos actuales

47.846.100,00 colones

25 años de ahorro neto con aumento de la tarifa del servicio del 10% anual

53.630.710,00 colones

Retorno de la inversión proyectada a ritmos actuales

19 años

Retorno de la inversión proyectada con aumento del servicio del 10% anual

17,5 años

3.4.3. Estudio de viabilidad

Al calcular los costos de inversión y al estimar el retorno de inversión podemos darnos cuenta que tal viable puede ser el proyecto, importante destacar que los costos de explotación para esta intervención, son nulos, esto debido a que la idea de destinar un monto inicial por capacitación técnica del mantenimiento y operación del sistema fotovoltaico a los funcionarios municipales, que brindarán el mantenimiento necesario, es precisamente no tener que incurrir en ningún gasto por concepto de costos de explotación; como se mencionó anteriormente la municipalidad respectiva asume el pago por concepto de contratación de personal que opera la planta, por lo que se desconoce dicho rubro, además que dicho personal brinda el mantenimiento también a las demás plantas ubicadas en el cantón, por lo que estimar un monto por concepto de mantenimiento es un poco difícil, debido a que dichos funcionarios no se encarga únicamente de velar por el buen funcionamiento de la planta, sino que tiene además otras tareas.

Para conocer más a fondo sobre la viabilidad del proyecto se hará un análisis comparativo de los costos actuales versus los ahorros mensuales estimados por la intervención, además de un análisis del periodo de amortización del proyecto.

3.4.3.1. Análisis comparativo de los costos versus retornos

Se expondrán los costos y retornos tanto del consumo actual como del retorno en la generación energética.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS vrs RETORNOS					
	Promedio	Promedio	Promedio	Costo/retorno a	Costo/retorno a
Descripción	Kwh/mes	colones/mes	colones/año	25 años/col	25 años/col +10%
Consumo actual de la planta	3.000,00	300.000,00	3.600.000,00	90.000.000,00	99.000.000,00
Producción del sistema fotovoltaico	1.594,87	159.487,00	1.913.844,00	47.846.100,00	52.630.710,00
Diferencia a producir	1.405,13	140.513,00	1.405.130,00	42.153.900,00	46.369.290,00

Cuadro N.8. Analisis comparativo de costos vrs retornos

En el Cuadro N.8. Bajo el ítem de costo / retorno a 25 años para la producción del sistema fotovoltaico, podemos darnos cuenta que este valor de 47.846.100,00 colones es mucho mayor que el valor de la inversión inicial por lo que podemos deducir que el proyecto es viable y si tomamos en cuenta el aumento en el servicio eléctrico del 10% anual (el ítem de al lado) el proyecto es mas rentable aún.

3.4.3.2. Análisis del periodo de amortización

AMORTIZACION			
Saldo	Intereses	Amortización	Cuota
36,740,000.00	3,306,600.00	2,449,333.33	5,755,933.33
34,290,666.67	3,086,160.00	2,449,333.33	5,535,493.33
31,841,333.33	2,865,720.00	2,449,333.33	5,315,053.33
29,392,000.00	2,645,280.00	2,449,333.33	5,094,613.33
26,942,666.67	2,424,840.00	2,449,333.33	4,874,173.33
24,493,333.33	2,204,400.00	2,449,333.33	4,653,733.33
22,044,000.00	1,983,960.00	2,449,333.33	4,433,293.33
19,594,666.67	1,763,520.00	2,449,333.33	4,212,853.33
17,145,333.33	1,543,080.00	2,449,333.33	3,992,413.33
14,696,000.00	1,322,640.00	2,449,333.33	3,771,973.33
12,246,666.67	1,102,200.00	2,449,333.33	3,551,533.33
9,797,333.33	881,760.00	2,449,333.33	3,331,093.33
7,348,000.00	661,320.00	2,449,333.33	3,110,653.33
4,898,666.67	440,880.00	2,449,333.33	2,890,213.33
2,449,333.33	220,440.00	2,449,333.33	2,669,773.33
0.00	26,452,800.00	36,740,000.00	63,192,800.00

Cuadro N.9. Análisis del periodo de amortización

A razón de solicitar un crédito a **15 años al 9% anual** para la puesta en marcha del proyecto, se terminarían pagando un total de 63.192.800,00 colones, donde el 58,14% correspondería a la amortización y el 41,86% corresponde al rubro por intereses, de estos números se deduce que a la hora de solicitar un crédito para este proyecto, no es viable debido a que la cuota final es mucho mayor al monto del retorno, por lo que habría que financiar dicho proyecto por medio de dineros del gobierno local destinados específicamente para este tipo de proyectos.

4. CONCLUSIONES

- El diseño seleccionado y especificado es técnicamente viable ya que la recuperación de la inversión no supera los 25 años de vida útil, sino más bien daría para seguir abasteciendo a la planta por unos cuantos años más, el mismo produciría un ahorro de la energía consumida de alrededor un 50%.
- La inversión inicial estimada es de 36.740.00,00 colones. Gran porcentaje de dicho monto corresponden al sistema de paneles solares. Si existiera algún tipo de acuerdo con las empresas distribuidoras que facilitarían capacitaciones o incluso paneles solares, como parte de abastecer dicho sistema, el impacto sobre la factibilidad del mismo lo haría aún más atractivo.
- En otros países en donde el costo de la energía eléctrica es más elevado, este tipo de proyectos son mucho más factibles económicamente, ya que el tiempo de retorno de la inversión sería menor.
- La idea básica detrás de la producción fotovoltaica no debe ser únicamente la rentabilidad económica, sino la contribución a mejorar el medio ambiente, reducir la dependencia energética. En general, no se debe esperar obtener grandes beneficios, sino cubrir los gastos y contribuir a un mundo mejor.
- El principal objetivo de la propuesta de intervención es lograr la eficiencia energética del sistema, para así contribuir con los principios de sostenibilidad, donde la capacitación técnica en temas de energías renovables sirvan de herramientas para difundir este tipo de energías a nivel nacional, así como también incentivar a la comunidad a desarrollar proyecto en conjunto.

- Si bien se entiende que la sostenibilidad se basa en procesos que:
1. Consumen menos energía, 2. Aportan energía por medio de energías alternativas y 3. Buscan la rentabilidad de los residuos; para este estudio los procesos dos y tres están siendo aplicados para este proyecto, sin embargo el primero de estos procesos habría que abordarlo con mayor atención, esto para encontrar mecanismo que ayuden a reducir el consumo energético en lugar de que este incremente conforme el residencial vaya creciendo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fase 1

División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas (2007) *Previsiones Demográficas Mundiales: Revisión 2006*. New York. Recuperado el 30 de febrero del 2012, desde: <http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2006/Spanish.pdf>

Cuchí, Alberto. *La energía, la presión del cambio*, La Rábida, 23 septiembre de 2011. Màster energies renovables: la ciudad sostenible.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y desarrollo (1992) *Declaración del Río sobre el Medio Ambiente y de Desarrollo*. Recuperado el 30 de febrero del 2012, desde: http://www.gobcan.es/agenciasostenible/doc/declaracion_rio.pdf

Balsells, Ferran. *El cambio climático ya extrema las temperaturas*. Diario *El País*, 19 de noviembre 2011. Recuperado el 30 de febrero del 2012, desde: http://elpais.com/diario/2011/11/19/sociedad/1321657205_850215.html

Santamarta, José. *Alternativas energéticas al petróleo*. Diario Recuperado el 19 de febrero del 2012, desde: <http://www.energiadiario.com/publicacion/spip.php?article7462>

Fonseca, Pablo. *Estilo de vida del tico demanda más agua de la que tiene*. Periódico *La Nación*, 21 de marzo del 2012. Recuperado el 3 de abril del 2012, desde: <http://www.nacion.com/2012-03-21/Portada/Estilo-de-vida-del-tico-demanda-mas-agua-de-la-que-el-pais-tiene.aspx>

Agüero, Mercedes. *País depende más del búnker y diesel para generar electricidad*. Periódico *La Nación*, 24 de febrero del 2012. Recuperado el 3

de abril del 2012, p. A4 desde: <http://www.nacion.com/2012-02-24/EIPais/pais--depende-mas--de--bunker-y-diesel-para-generar-electricidad-.aspx> ó http://periodico.nacion.com/doc/nacion/la_nacion-24febrero2012/2012022401/?key=6424403a83848728a551d33d9d7de7b8#4

Agüero, Mercedes. *Minaet vuelve a impulsar contingencia eléctrica. Periódico La Nación*, 24 de febrero del 2012. Recuperado el 3 de abril del 2012, p. A4 desde: <http://www.nacion.com/2012-02-24/EIPais/pais--depende-mas--de--bunker-y-diesel-para-generar-electricidad-.aspx> ó http://periodico.nacion.com/doc/nacion/la_nacion24febrero2012/2012022401/?key=6424403a83848728a551d33d9d7de7b8#4

M.Sc. J.Wright . Variacion espacial y temporal del potencial solar en Costa Rica. Departamento de Física, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica

Murillo, Tatiana. *Una huella ecológica creciente. Periódico La Nación*, 23 de noviembre del 2010. Recuperado el 3 de abril del 2012, desde: <http://www.nacion.com/2010-11-23/Opinion/Foro/Opinion2599158.aspx>

Costa Rica: Presidencia de la República y los Ministros de Salud y de Ambiente y Tecnología. *Reglamento de uso y vertido de aguas residuales: decreto ejecutivo 26042-S-MINAE.(1-27)* Periódico La Gaceta, 19 de junio de 1997. Recuperado de: http://www.quimicoscr.com/docs/vertido_y_reuso_de_aguas.pdf

Chichilla, Darío. La Carpintera “esconde” una gran riqueza biológica: estudio del Museo Nacional. *Periódico La Nación*, 21 de setiembre del 2008. Recuperado de: http://www.nacion.com/ln_ee/2008/septiembre/21/aldea1706058.html

Agüero, Mercedes. Ocho plantas alimentarán al país de energía limpia en 2013. *Periódico La Nación*, 19 de abril del 2012. Recuperado de:

<http://www.nacion.com/2011-09-27/EIPais/ocho-plantas--alimentaran-al-pais-de-energia-limpia-en--2013.aspx>

Marín, M. y Ramírez, I. (n.d.) Alternativas de saneamiento ecológico y análisis sobre la situación del saneamiento ambiental en Costa Rica
Recuperado de:
<http://www.acepesa.net/docu/informe%20saneamientoISSUE.pdf>

El día 23 de enero 2011 se publicó en el diario oficial del gobierno de Costa Rica **La Gaceta N.16 El Reglamento para la operación y administración del acueducto de la Municipalidad de la Unión** en el cual hace referencia a la administración del acueducto municipal, pero no hace referencia al tema de plantas de tratamiento, ni tampoco al rubro por cobrar por tratar las aguas residuales.

http://www.gaceta.go.cr/pub/2012/01/23/COMP_23_01_2012.pdf

En **la Gaceta del día 27 de marzo del 2011** se publico el rubro por concepto de Tratamiento de Aguas Residuales: estipulado este último en dos mil setecientos cuarenta y cinco colones (¢2.745,00) para los consumos entre 0 y 15 metros cúbicos. Ciento ochenta y tres colones (¢183,00) el metro cúbico adicional. Recolección de Aguas Residuales: cuatrocientos cinco colones (¢405,00) para los consumos entre 0 y 15 metros cúbicos. Veintisiete colones (¢27,00) el metro cúbico adicional.

http://www.gaceta.go.cr/pub/2012/03/27/COMP_27_03_2012.pdf

En **la Gaceta del 14 de mayo 2011** fijan banda tarifaria para generadores privados hidroelectricos Págs. 42 - 65

http://historico.gaceta.go.cr/pub/2012/05/14/COMP_14_05_2012.pdf

Ross, Amy. Aresep crea banda de tarifas para generadores privados. Periódico La Nación, 15 de mayo del 2012. Recuperado de:

<http://www.nacion.com/2012-05-15/EIPais/aresep-crea--banda-de-tarifas-para-generadores-privados-.aspx>

Autoridad reguladora de los servicios públicos tarifas eléctricas por generadores http://www.gaceta.go.cr/pub/2011/04/07/COMP_07_04_2011.pdf

Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos D. Mota Navarro, y colegas, Bogotá D.C. 2004

<http://www.obrasurbanas.es/files/data/970-66-71.pdf>

http://www.cnfl.go.cr/portal/page?_pageid=35,421564&_dad=portal&_schema=PORTAL

http://www.cnfl.go.cr/portal/page?_pageid=35,43166,35_463621&_dad=portal&_schema=PORTAL

Fase 2

S. Nandwani, Energía solar, conceptos básicos y su utilización. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica 2005.

Manual sobre energía renovable hidráulica a pequeña escala. Fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América Central. Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

Manual sobre energía renovable solar fotovoltaica. Fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América Central. Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

Manual sobre energía renovable eólica. Fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América Central. Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

Manual sobre energía renovable biomasa. Fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América Central. Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

Zapata S., Descontaminación de aguas biorrecalcitrantes mediante fotofenton solar y oxidación biológica a escala industrial. Tesis doctoral, 2011

Scott J.P.; Ollis D.F. Environ Progress 14 (1995) 88-103

Tantak N.P.; Chaudhari S. Degradation of azo dyes by sequential Fenton's oxidation and aerobic biological treatment. Journal of hazardous Materials B 136 (2006) 698-705

Glaze W.H.; Kang J.W.; Chapin D.H. Ozone Sci.&Technol 9 (1987) 335-352

J.H. Carey, J. Lawrence y H.M. Tosine, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 16(6), 697-701 (1976).

Al-Ekabi y N Serpone, J. Phys. Chem., 92, 5726-5731 (1988).

A. Hussain y N. Serpone, J. Phys. Chem., 92, 5726-5731 (1988)

Julián Blanco Gálvez, Sixto Malato Rodríguez, Claudio A. Estrada Gasca, Erick R. Bandala, Silvia Gelover y Teresa Leal PURIFICACIÓN DE AGUAS POR FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA: (2001)

S. S. Jayanthi, P. Ramamurthy. Excited singlet state reactions of thiopyrylium with electron donors: Electron transfer, induction of triplet by

internal and external heavy atom effect, and comparison of pyrylium and thiopyrylium reactions. *Journal of Physical Chemistry A* 102 (1998) 511-518.

Lucas M.S.; Dias A.A.; Sampaio A.; Amaral C.; Peres J.A. Degradation of a textile reactive azo dye by a combined chemical biological process: Fenton's reagent-yeast. *Water research* 41 (2007) 1103-1109

Bautista P.; Mohedano A.F.; Gilarranz M.A.; Casas J.A.; Rodríguez J.J. Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment. *Journal of Hazardous Materials* 143 (2007) 128-134

Vidal A.; Sanchez B.; Romero M.; Blanco J.; Malato S. Proceedings of 1st Int. Conf. on Advanced Oxidation Technologies for Water and Air remediation (1994)

Baird C. C. *Environmental Chemistry*. W.H. Freeman and Company New York (1999)

Blanco J.; Malato S.; Estrada C.A.; Bandala E.R.; Gelover S.; Leal T. Eliminación de contaminantes por Fotocatálisis heterogénea. Ed. Miguel A. Blesa. CYTED. La Plata. Argentina. Capítulo 3 (2001) 51-76

Blake D.M. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP (1999)

Bechtel Corporation, Sandia National Laboratory Report. SAND91-7005 (1991).

C.S. Turchi, J.F. Klausner, D.Y. Goswami y E. Marchand, Proceedings of Chemical Oxidation: Technologies for the Nineties, Third International Symposium. National Renewable Energy Laboratory report: NREL/TP-471-5345. Nashville, Tennessee, 17- 19 Febrero, (1993).

Parra S.P. Tesis Doctoral. Coupling photocatalytic and biological processes as a contribution to the detoxification of water: catalytic and technological aspects. Thèse n° 2470 (2001) Présentée au Département de Génie Rural. École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Blanco J.; Malato S.; Estrada C.A.; Bandala E.R.; Gelover S.; Leal T. Eliminación de contaminantes por Fotocatálisis heterogénea. Ed. Miguel A. Blesa.CYTED. La Plata. Argentina. Capítulo 3 (2001) 51-76

Blesa M.A.; Sánchez B. Eliminación de contaminantes por fotocatálisis heterogénea. Editorial CIEMAT. ISBN:84-7834-489-6 (2004)

Parra S.P. Tesis Doctoral. Coupling photocatalytic and biological processes as a contribution to the detoxification of water: catalytic and technological aspects. Thèse n° 2470 (2001) Présentée au Département de Génie Rural. École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Kanmani S.; Thanasekaran K. Decolorization of industrial wastewaters of textile dyeing industry by photocatalysis. Indian Journal of Chemical Technology 10(1) (2003) 53-59

Blanco J.; Malato S.; Estrada C.A.; Bandala E.R.; Gelover S.; Leal T. Eliminación de contaminantes por Fotocatálisis heterogénea. Ed. Miguel A. Blesa.CYTED. La Plata. Argentina. Capítulo 3 (2001) 51-76

Manual sobre energía renovable hidráulica a pequeña escala. Fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América Central. Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

Manual sobre energía renovable solar fotovoltaica. Fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América Central. Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

Manual sobre energía renovable eólica. Fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América Central. Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

Manual sobre energía renovable biomasa. Fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América Central. Biomass Users Network (BUN-CA).1 ed. - San José, C.R. Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.

Fase 3

G. Rodríguez- I. Rodríguez eliminación de metales tóxicos mediante zeolitas naturales, Laboratorio de Ingeniería de Zeolitas, IMRE Universidad de La Habana, Zapata Cuba, 1997

M. Gutiérrez. Planta compacta potabilizadora de aguas superficiales con zeolita, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” , Cuba.

S.Nikolaeva, E.Sanchez, R.Borja, otros Treatment of piggery wastes by anaerobic fixed bed reactor and zeolite bed filter in a tropical climate: a pilot scale study. Process Biochemistry 38 (2002), 405-409.

http://www.slideshare.net/david_123456/planta-compacta-potabilizadora-de-aguas-superficiales-con-zeolita

<http://www.emmexico.com/fosa.html>

<http://noaprobaras.blogspot.com/2011/04/mineralogia-zeolitas.html>

<http://emmexico.com/zeoponiaem.pdf>

<http://ww2.minas.upm.es/zeolitas/principal.html>

http://www.researchgate.net/publication/5572290_Treatment_of_screened_dairy_manure_by_upflow_anaerobic_fixed_bed_reactors_packed_with_waste_tyre_rubber_and_a_combination_of_waste_tyre_rubber_and_zeolite_Effect_of_the_hydraulic_retention_time

J. Blanco Gálvez, S. Malato Rodríguez, C. Estrada Gasca, E. R. Bandala, S. Gelover y T. Leal Purificación de aguas por fotovatalisis heterogenea, estado del arte.

L. Alonso Zeledón. Zeolitas del valle central de Costa Rica, San José, Costa Rica 2005

J. Blanco Gálvez, S. Malato Rodríguez, J. Peral, B. Sánchez y A. Cardona. Diseño de reactores para fotocatalisis, evaluación comparativa de las distintas opciones

Fase 4

<http://www.monografias.com/trabajos7/coad/coad.shtml>

<http://www.comserpro.com/finanzasempresa.php?pg=9>

<http://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/que-es-una-amortización>

R. Alves, F. Chacón, H. Toledo Dpto. de Conversión y Transporte de Energía CTE. Universidad Simón Bolívar. Estudio técnico económico de factibilidad de generación fotovoltaica en Venezuela. 2009

J. Saltre. Análisis de Factibilidad Técnico-Económico de colectores solares planos en viviendas tipo Fundamentos de Energía Solar Térmica Universidad de la República 2010