



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y AMBIENTE

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL
SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA
CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ Y PROPUESTA DE APLICACIÓN EN
INSTALACIONES MUNICIPALES**

MARÍA MILAGRO FAJARDO RÍOS
LICENCIADA EN HISTORIA

Guatemala, abril 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



TESIS DE GRADUACIÓN

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ Y
PROPUESTA DE APLICACIÓN EN INSTALACIONES MUNICIPALES**

Por

MARÍA MILAGRO FAJARDO RÍOS

Licenciada en Historia

Asesorada por

M.Sc. ERICK GONZÁLEZ DE LEÓN

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

Guatemala, abril de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	M. Sc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Erick Mauricio González De León
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y AMBIENTE

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ Y
PROPUESTA DE APLICACIÓN EN INSTALACIONES MUNICIPALES**

Informe final de tesis para la obtención del grado de Maestro en Ciencias, con base en el
"Normativo de Tesis para optar al Grado de Maestro aprobado por la junta directiva de la Facultad
de Ingeniería, el 25 de Mayo 2006"

M. Sc. Ing. Erick González de León
Asesor de Tesis
María Milagro Fajardo Ríos
Autora

Guatemala, 3 de marzo 2009

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ Y PROPUESTA DE APLICACIÓN EN INSTALACIONES MUNICIPALES**, presentado por la Licenciada en Historia **María Milagro Fajardo Ríos**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hugo Leonel Ramírez Ortiz'.

Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
Coordinador
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Julio de 2009.

/zc.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Energía y Ambiente del trabajo de tesis de graduación titulado **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ Y PROPUESTA DE APLICACIÓN EN INSTALACIONES MUNICIPALES**, presentado por la Licenciada en Historia **María Milagro Fajardo Ríos**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Carlos Humberto Pérez Rodríguez".

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Julio de 2009.

/zc.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ Y PROPUESTA DE APLICACIÓN EN INSTALACIONES MUNICIPALES**, presentado por la Licenciada en Historia **María Milagro Fajardo Ríos**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Carlos Humberto Pérez Rodríguez".

Msc. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Julio de 2009.



IZC.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

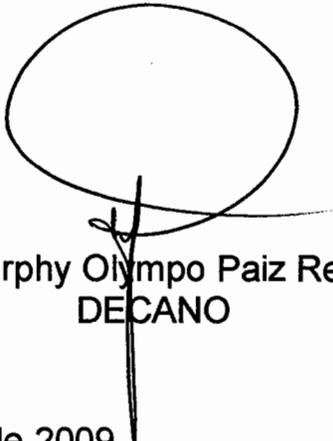


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D. Postgrado 004.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ Y PROPUESTA DE APLICACIÓN EN INSTALACIONES MUNICIPALES** presentado por la Licenciada en Historia **María Milagro Fajardo Ríos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, julio de 2009

/zpcm



A mis hijos Juan Pablo y Rodrigo Stuardo

"No hay límites para el que se propone algo en la vida, siempre motivado por los que ama"

ÍNDICE

GLOSARIO	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
OBJETIVOS	vi
HIPÓTESIS	vii
INTRODUCCIÓN	viii
ANTECEDENTES	1
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
I. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	7
I.1 ENTORNO GEOGRÁFICO: DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ	7
I.1.1 DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ	7
I.1.2 DATOS HISTÓRICOS	8
I.1.3 COSTUMBRES	9
I.1.4 IDIOMAS	9
I.1.5 ECONOMÍA	9
I.1.6 HIDROGRAFÍA	10
I.1.7 CENTROS TURÍSTICOS E HIDROLÓGICOS	10
I.1.8 OROGRAFÍA	11
I.1.9 ZONAS DE VIDA VEGETAL	11
I.1.10 ÁREAS PROTEGIDAS	12
I.1.11 VÍAS DE COMUNICACIÓN	12
I.1.12 GEOLOGÍA	12
I.1.13 USO ACTUAL DE LA TIERRA	13
I.2 CONCEPTUALIZACIÓN BÁSICA	13
II. CONTENIDO	18
CAPÍTULO 1:	18
1.1 GENERALIDADES	18
1.1.1 HISTORIA DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA	18
1.1.2 APLICACIONES PARADIGMÁTICAS	26
1.2 MUNICIPIO DE SANTA CRUZ, LA LAGUNA	33
1.2.1 ENTORNO SOCIO-ECONÓMICO Y CULTURAL	33
1.2.2 GEOGRAFÍA	34
1.2.3 SITIO XE KA'ON: CENTRO CEREMONIAL Y ASPECTOS CULTURALES	35
1.2.4 LOS NACIMIENTOS CHIRIJ KA'ON	36
1.2.5 CONCIENCIA AMBIENTAL Y EL USO RACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES	37
1.2.6 RECURSOS NATURALES Y BENEFICIOS SOCIO AMBIENTALES	37
1.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE SANTA CRUZ, LA LAGUNA- PA TINAMIT WA	39
1.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	39

1.3.2 CAJAS ROMPEPRESIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	40
CAPÍTULO 2	42
2.1 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	42
2.2 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA	42
2.3 MEDICIÓN DE PARÁMETROS HIDROENERGÉTICOS	43
2.4 POTENCIAL HIDROENERGÉTICO ESTIMADO	44
CAPÍTULO 3	51
3.1 PROPUESTAS DE PROYECTOS DE ILUMINACIÓN COMUNITARIA DE SANTA CRUZ, LA LAGUNA	51
3.1.1 EQUIPO ELECTROGENERADOR Y BANCO DE BATERÍAS	51
3.1.1.1 EQUIPO TURBOGENERADOR	52
3.1.1.2 BANCO DE BATERÍAS	53
3.2 PROYECTO DE ILUMINACIÓN DEL LAVADERO PÚBLICO DE SANTA CRUZ, LA LAGUNA	55
3.3 PROYECTO DE ILUMINACIÓN DE LA PLAZA DE SANTA CRUZ, LA LAGUNA	57
3.4 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN	58
III. MÉTODOS Y TÉCNICAS	59
III.1 DISEÑO	61
III.2 PROCEDIMIENTO	61
III.3 TÉCNICAS	61
III.4 HERRAMIENTAS	62
IV. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	63
V. RECURSOS NECESARIOS	64
VI. CONCLUSIONES	65
VII. RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	72

GLOSARIO

- **Efecto antropogénico:** Uso de los recursos naturales y efectos antrópicos, ocasionados por el hombre, que inciden negativamente en el ambiente: contaminación, erosión, tala y deforestación, entre otros.
- **Energética:** ciencia que trata sobre la energía.
- **Energía:** del gr. En y ergón: acción. Facultad que tiene un cuerpo de producir trabajo.
- **Energía cinética:** Energía que posee un cuerpo en movimiento.
- **Energía hidráulica:** La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores.
- **Hidráulica:** *del gr. Hydor: agua y aulos: tubo.* Parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos. Ciencia que enseña a elevar y conducir las aguas, por ejemplo hidráulica agrícola.
- **Hidráulico:** Que funciona por medio de líquidos, comúnmente agua.
- **Hidroenergía:** Energía producto de líquido en movimiento, comúnmente agua.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: NACIMIENTOS CHIRIJ KA'ON, TIEMPOS DE LLENADO (SEGUNDOS)	45
TABLA 2: ENERGÍA PREVISIBLE	49
TABLA 3: POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN SANTA CRUZ LA LAGUNA	50
TABLA 4: CONSUMO DE ACUERDO A POTENCIAL DE LÁMPARAS Y HORAS DE USO	54

ÍNDICE DE FIGURAS

GRÁFICA 1: MAPA SOLOLÁ	7
GRÁFICA 2: MOLINOS PARA MOLER HARINA DE GRANOS	22
GRÁFICA 3: TURBINA FRANCIS	23
GRÁFICA 4: TURBINA KAPLAN	24
GRÁFICA 5: TURBINA MICHELL-BANKI	24
GRÁFICA 6: TURBINA PELTON	25
GRÁFICA 7: MOLINO DE HILERAS	29
GRÁFICA 8: HUELVA	29
GRÁFICA 9: MÁQUINAS DE DA VINCI	30
GRÁFICA 10: BARCO DE REMOS DE PALETA	31
GRÁFICA 11: DRAGA	32
GRÁFICA 12: CAJA ROMPEPRESIÓN	41
GRÁFICA 13: UBICACIÓN DE NACIMIENTOS CHIRIJ KA´ON	43
GRÁFICA 14: DIMENSIONES DE CUBETA	45
GRÁFICA 15: MEDICIÓN DE CAUDAL	46
GRÁFICA 16: MILAGRO FAJARDO Y EQUIPO DE ACOMPAÑAMIENTO	47
GRÁFICA 17: PROPUESTA DE HIDROELECTRICIDAD	51
GRÁFICA 18: EQUIPO ELECTROGENERADOR Y TURBINA TURGO	52

RESUMEN

Esta investigación consistió en definir con precisión la potencia hidroeléctrica que es posible obtener del sistema de abastecimiento de agua de los nacimientos Chirij Ka'on del municipio de Santa Cruz La Laguna, con el fin de abastecer de electricidad a un sistema de iluminación para espacios municipales o comunales. El sistema puede usarse como funciona actualmente. Se determinó que la potencia superará los 1,000 watt-hora al día, suficiente para alimentar entre 11 a 12 lámparas fluorescentes de ahorro energético de 11 watts en corriente directa o alterna.

El problema que se observó fue la contaminación por desechos sólidos de los ríos y riachuelos que atraviesan el pueblo por lo que se hizo necesario analizar si el agua es potable. Entre los cerros se encontraron dos nacimientos llamados Chirij Ka'on ubicados al pie del cerro Xe Ka'on, el cual es un sitio sagrado donde los sacerdotes mayas y autoridades municipales tienen acceso en fechas ceremoniales. Ubicado a 1,765 metros sobre el nivel del mar. Dichas condiciones permiten que esta área no sea objeto frecuente de los efectos antropogénicos. La topografía escarpada provoca grandes caídas del agua, propiedad propicia para el aprovechamiento de micro energía hidráulica; posteriormente, se estableció la calidad del agua de los nacimientos que sirven al sistema de agua del municipio y con los resultados de las muestras tomadas en los dos nacimientos se evidenció la buena calidad del agua. Todas, condiciones favorables para establecer el uso hidroenergético y plantear los proyectos demostrativos de iluminación de algunas instalaciones municipales que inciden en cambios socio económicos en Santa Cruz La Laguna, Sololá.

Se desarrollaron 3 capítulos: el primero, se refiere a generalidades de la energía hidráulica, los grandes inventos, como la rueda hidráulica, las máquinas hidráulicas de Da Vinci y la turbina, que son los pasos sobresalientes de la humanidad en el aprovechamiento del agua; el segundo, trata de la forma en que se determinó el potencial hidroenergético en los nacimientos Chirij Ka'on y el tercero, se refiere a los proyectos demostrativos de iluminación que se propone a la Municipalidad y a la Comunidad de Santa Cruz La Laguna; tales como: iluminación de las áreas de la Plaza Central, del atrio de la Iglesia, de la Cancha de Básquetbol o de los exteriores de edificios públicos y/o la otra propuesta, es la de iluminar el lavadero público, para darle vistosidad, se puede crear una fuente decorativa, además de lo funcional, se le incorpora un acento de ornato para los habitantes y visitantes. Ambas propuestas tendrán un horario de por lo menos 5 horas, que permitirán seguridad para transitar por las noches, acceso a servicios públicos mejorados para la población y establecer un área más atractiva al turismo.

Los resultados obtenidos y algunas consideraciones permiten a las autoridades y líderes de los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES) el aprovechamiento de pequeños caudales hídricos al servicio de Santa Cruz La Laguna y así la comunidad valorará sus recursos naturales, también pueden contribuir a tomar conciencia de la sustentabilidad de su riqueza natural, aspectos que redundarán en beneficio de la mitigación del cambio climático.

Se estableció que no hay necesidad de quitar la tubería del sistema de abastecimiento actual, es decir no hay necesidad de alterar la tubería ni el servicio de abastecimiento de agua en Pasiwán Patín (Santa Cruz la Laguna en Cakchiquel).

Se comprobó que existe la posibilidad de aumentar la potencia eléctrica, si se eliminan las 5 Cajas Rompe-presión, con el cambio del diseño de la tubería; lo cual permitiría producir 2,321.44 W de potencia, o sea 55.71 kW-hora, suficiente para 56 casas urbanas. Esto se logra al aprovechar al máximo el potencial hidroenergético de los dos nacimientos de agua. Si así se quisiera o si la población lo demanda para incrementar la actividad económica.

Por lo tanto éstas dos propuestas tienen alcances como el aprovechamiento del caudal hídrico y la aplicación en instalaciones de micro energía hidráulica que permiten el ahorro de la inversión en energía eléctrica pública, crea condiciones de una vida moderna más cómoda para Santa Cruz La Laguna y posibilita la adopción de medidas políticas socio ambientales que tiendan a la conservación de la flora y fauna locales y en particular hacia la conservación de las fuentes, nacimientos y ríos con un impacto positivo en el Lago de Atitlán.

El fin último de esta investigación es lograr el fortalecimiento de la conciencia socio ambiental en la población de Santa Cruz La Laguna convirtiéndose en un modelo para los otros 10 municipios de la cuenca del lago de Atitlán.

OBJETIVOS

1.1.OBJETIVO GENERAL

Determinar el potencial hidroenergético del sistema de Abastecimiento de Agua de Santa Cruz La Laguna, Sololá para proponer un proyecto de iluminación de instalaciones municipales.

1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el potencial hidroenergético del sistema de abastecimiento de agua proveniente de los dos nacimientos Chirij Ka'on
2. Proponer un proyecto de aplicación de la electricidad utilizable según el potencial hidroenergético del Sistema de Abastecimiento de agua potable de los Nacimientos Chirij Ka'on
3. Elaborar y preparar un Informe y detalles del proyecto de aplicación en el municipio de Santa Cruz la Laguna y presentarlo a la Corporación Municipal de dicho municipio.
4. Elaborar un documento que describa las actividades mínimas pero suficientes que contribuyan a garantizar la protección ambiental del recurso hídrico proveniente de los nacimientos Chirij Ka'on y sus alrededores.

HIPÓTESIS

El Sistema de Abastecimiento de agua proveniente de los nacimientos Chirij Ka'on del municipio de Santa Cruz la Laguna, puede proporcionar al menos 1 kW-h/día de energía eléctrica limpia, renovable y gratuita para iluminar externamente los edificios y/o instalaciones municipales y comunales de dicho municipio.

INTRODUCCIÓN

La creciente degradación, pérdida y contaminación de las fuentes de recursos renovables, nos hace ver que la sustentabilidad ha sido amenazada debido al mal uso de los recursos naturales. Se observa la necesidad de generar medios necesarios para restablecer el equilibrio entre el hombre, su medio y establecer una sana relación entre el progreso económico, la naturaleza y equidad social, lo que en “La Cumbre de la Tierra” en Brasil (1992) se llamó desarrollo sustentable; que cobra mayor alcance y significado por la cantidad de países participantes en ese debate. De ahí resulta la definición: “Un desarrollo que responda a las necesidades del presente, al ritmo de la renovación de los recursos (naturales), es decir, que no comprometa al de las generaciones futuras”.

Analizando los efectos, tales como el deshielo del Polo Norte, la pérdida de tantas especies de aves, de mamíferos y de árboles, además tanta gente muriendo de hambre, se planteó qué hacer al respecto, qué futuro les dejamos a las nuevas generaciones ante tan desolador panorama. Se puede pensar que para eso están los gobiernos, las iniciativas de ley, etc. No obstante es compromiso moral y ético de cada uno, hacer algo o dejar de hacerlo, de donde se ve la disyuntiva entre el desarrollo económico a costa del entorno ambiental. El desarrollo y el crecimiento económico no han sido gratuitos. ¿Se puede restablecer ese equilibrio?

El presente trabajo responde, con una visión integradora, cómo se puede contribuir a evitar el agotamiento de los recursos naturales renovables, así como contribuir a generar bienestar a las futuras generaciones, fortalecer la calidad de los recursos, tales como el agua, el suelo, las especies; y, en particular tiene la visión de contribuir a reforzar la economía local, que fortalece a su vez el crecimiento económico y crea la conciencia de una responsabilidad social ambiental.

La investigación se lleva a cabo en Sololá durante 10 meses. Se planifica la forma de obtener la información y encontrar soluciones para una comunidad muy pobre, por lo que al conocer el potencial hídrico y las necesidades de Santa Cruz La Laguna se plantea un sistema de aprovechamiento de los nacimientos de agua, recurso hídrico encontrado en los cerros Chirij Ka'on que conjuntamente con el cerro Xe Ka'on forman un complejo de recursos naturales y culturales que pueden ser conservados.

Se pretende incidir en la mejor utilización de los recursos naturales, en la conservación del valioso recurso hídrico de Santa Cruz que deriva en un cuerpo de agua mayor, donde descargan

los afluentes con aguas residuales, provocando graves problemas en el Lago de Atitlán y las poblaciones de la cuenca.

Una respuesta, para hacer partícipe a la comunidad, es el uso de la energía hidráulica aprovechando caudales mínimos, proponiendo micro-hidroeléctricas para lograr la optimización del sistema de distribución de agua potable, existente; de tal manera que los factores importantes a considerar en la investigación, consisten en el estudio y análisis de los recursos que permitan plantear medidas de mitigación para la conservación de los recursos naturales en primer lugar, el agua, sus fuentes, nacimientos, ríos y por consiguiente, políticas que pueden conservar el lago de Atitlán.

En segundo lugar, la propuesta de proyectos ambientales y/o energéticos, como éste, que promueven la conservación y el uso de la energía hidráulica plantea el mejor aprovechamiento de los recursos naturales y la eficiencia de otros recursos municipales; por lo tanto se partió de un diagnóstico de los caudales y caída de dos de sus nacimientos de agua con la visión de generar energía eléctrica para la población de Sta. Cruz La Laguna. El uso y aprovechamiento del recurso hídrico del municipio podría beneficiar el ámbito natural, social, de la salud, de la educación e incide directamente en el desarrollo económico de sus habitantes y en una mejor calidad de vida.

ANTECEDENTES

Según Inversin Allen, una de las instituciones que ha llevado a cabo estudios acerca de la Energía Hidráulica y Micro energía y que ha publicado una importante fuente de información para implementar las micro-hidroeléctricas es Nacional Rural Electric Cooperative Asociation (NRECA) y la oficina de Energía de Estados Unidos de USAID, siendo su propósito desde 1984, dar a conocer los avances y trabajos que se realizan en el tema de energías renovables, sobre todo el aprovechamiento de la micro-energía; así como su aplicación en países en vías de desarrollo. La publicación de la guía para instalar micro-hidroeléctricas ha tardado más de 5 años; contiene numerosas contribuciones de investigadores y especialistas alrededor del mundo. Personas con su experiencia han hecho posible que en otras partes del mundo se conozca la tecnología moderna adaptada a las necesidades de áreas rurales, donde pueden utilizar sus recursos naturales, la aplicación de pequeños caudales hídricos y su potencial en los proyectos de energía y proyectos productivos para despegar hacia nuevas oportunidades de desarrollo. El Dr. M. Abdullah, director de la Facultad e Ingeniería de Peshavar, Pakistán y Andreas Bachmann de SATA (Swiss Asociation for Technical Asistance) quienes han hecho numerosas investigaciones y visitas a Tailandia, también Rupert Armstrong Evans de Cromwall, Inglaterra y Jaime Lobo Guerrero de la Universidad de Los Andes en Bogotá, quienes han dado todo su tiempo a la creación de micro-hidroeléctricas y la manufactura del equipo para las mismas; la adaptación de las micro y mini hidroeléctricas para hacerlas más accesibles en áreas rurales que son regiones pobres donde demandan de electrificación. “Esta guía permite seleccionar el sitio, diagrama e instalaciones y equipo necesario”. (1)

La Guía da a conocer las experiencias obtenidas en Nepal por Dale Nafzinger quien trabajó en la Misión de Nepal (UMN) por Domingo Wong, en el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE) quien ha complementado en Panamá pequeños proyectos muy exitosos así como la experiencia de Robert Yoder, otro ingeniero que aplicó su vasto conocimiento durante 8 años en Nepal para luego trasladar su contribución tecnológica a países en vías de desarrollo. Otros estudios que se han hecho en este tema, son: en The Alternate Hydro Energy Centre in Rorkee, India, que abarca la producción y el uso de la hidroenergía; en Buhiga, Burundi, en la escuela de agricultura Karuzi; la implementación hecha por Geoff Bishop quien obtuvo 220 kW para proveer energía a la comunidad; el aporte de Githuki Chege en Kenya, un granjero que enseña como la fuerza del agua tiene varias aplicaciones productivas en su medio: también se registran los resultados de las experiencias de Proyectos realizados por Brot Cohurn con micro-hidroeléctricas en Nepal cerca del Monte Everest; Bernand Cretinon cooperante francés, con su aporte en Burundi; Martin Dietz, Grang Cunear y Mike Smith en Liberia; Meter Garman en Sudán. Harry Langhorme, en los Montes Apalaches en Virginia E.U.A., Johnn Word en Irlanda, entre otros.

“Por lo tanto se sabe que pueden establecerse canales de irrigación, áreas de pesca productiva y mejorar las instalaciones de agua potable”. (Ibíd. pág. 55) El estudio de casos prevé resultados de micro-hidroeléctricas en Asia, África y América Latina, con características adecuadas para su funcionamiento. Por otra parte las dificultades y los aciertos obtenidos permiten su aplicabilidad en áreas rurales y en los países en vías de desarrollo como un aporte que contribuya al crecimiento económico y a mejorar la calidad de vida, con todas las características de su funcionamiento práctico y con un método de aplicación, de manera coherente, después de las múltiples revisiones a que fue sometido.

En Guatemala, en el tema de conservación de recursos naturales su manejo y aprovechamiento se han llevado a cabo varias acciones, como acuerdos interinstitucionales en Sololá para proteger el Lago de Atitlán. A finales del 2004 y durante todo el 2005 El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y el Consejo de Desarrollo Departamental de Sololá (CODEDE) han trabajado conjuntamente para presentar el Plan de Desarrollo Sostenible de la Reserva de Uso Múltiple de la Cuenca del Lago de Atitlán y el Departamento de Sololá 2006-2010. Este plan contempla los aspectos económicos importantes para el desarrollo sostenible del departamento de Sololá y la Reserva de uso Múltiple de la Cuenca del lago de Atitlán (RUMCLA) desde una perspectiva integral. Se contempla que las acciones futuras de cualquier institución o proyecto trabajando dentro del departamento y la RUMCLA sean orientadas por los objetivos y las estrategias aquí planteadas de forma de lograr alcanzar una meta en común y lograr el desarrollo sostenible del área.

Instituciones participantes en la elaboración del plan de desarrollo sostenible de la RUMCLA y del departamento de Sololá 2006-2010.

Consejo de Desarrollo Departamental de Sololá (CODEDE), Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE), Ministerio de Cultura y Deportes (MICUDE), Dirección de Monumentos Prehispánicos (DEMOPRE), Instituto de Antropología e historia (IDEH); Instituto Nacional de Bosques (INAB); Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Instituto Guatemalteco de Turismo (INGUAT), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); Municipalidad Indígena de Sololá; Procuraduría de los Derechos Humanos (PDH); Gobernación Departamental de Sololá; División de Protección a las Naturales (DIPRONA); Fondo Nacional Para la Paz (FONAPAZ); Secretaría de la Paz (SEPAZ); Fondo de Inversión Social (FIS); Secretaría General de la Planificación (SEGEPLAN); Programa de las Naciones Unidas para Guatemala (PNUD); Sistema de Prevención y Control de Incendios Forestales (SIPECIF); alcaldías municipales.

Academia de Lenguas Mayas (ALMG); Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala (ARNPG); Asociación Amigos del Lago de Atitlán (AALA); Asociación para el Desarrollo de Chicacao (ADECH); Asociación Lema de San Juan la Laguna, Asociación MIRAS; Comité de Autogestión Turística de Panajachel; COPREDEH, ECO-APOCS, Comisión de Lugares Sagrados; Fundación Solar; Gremial de Exportadores (AGEXPORT); CALAS, ADENISA, COPIKAJ, Consejo Chajinel de San Pedro la Laguna; Fideicomiso para la Conservación de Guatemala (FCG); Rupalaj Kistalin de San Juan La Laguna; Universidad del Valle de Guatemala.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La cuenca del Lago de Atitlán es un Área Protegida. Cuenta con una superficie de 62,500 hectáreas, administrada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-. Se identifica como un área de gran importancia económica, de desarrollo turístico y de gran potencial económico-social. El municipio de Santa Cruz La Laguna, que es uno de los 4 más pobres (de un total de 9), junto con Santiago, Santa Catarina Ixtahuacán y Nahualá, posee un número de personas analfabetas que supera el 70 % del total de pobladores.

El porcentaje de pobreza de la población departamental, calculado con base a necesidades básicas insatisfechas; niveles de ingreso y niveles de consumo; asciende al 76.3 %, y el 32.62 % se encuentra en extrema pobreza. Esto hace que Sololá sea uno de los departamentos más pobres del país muy por encima del promedio nacional que es de 54.33 % de pobreza y 22.77 % de extrema pobreza.

La población de Santa Cruz La Laguna tiene necesidad de conservar su entorno natural, sus fuentes de agua, principalmente, utilizando equilibradamente los recursos del bosque y haciendo un uso sostenible de los mismos.

En esta última categoría se encuentra, los dos nacimientos de agua que existen en la montaña, la riqueza natural de sus bosques es necesaria para la vida de los pobladores y para conservar su biodiversidad de flora y fauna. Estos nacimientos llamados Chirij Ka'on, son utilizados actualmente para alimentar el sistema de abastecimiento de agua de Santa Cruz. Están separados entre sí por un trecho de 100 metros. La tubería de PVC de 2.5" , desciende más de 70 metros y con un caudal entre 1 a 1.5 litros por segundo, es posible aprovechar una potencia de 500 W y con el uso de lámparas ahorradoras de energía fluorescentes es posible iluminar espacios municipales o turísticos.

El pueblo por sus accesos y características escarpadas de su topografía no es un lugar de visita incluida en las guías turísticas, se debe llegar en lancha y caminar de la ribera del lago hasta el pueblo, 1km, aproximadamente. Hay una carretera recién inaugurada, en noviembre de 2008, sin embargo tiene un trazo muy inclinado, sin trabajos de imprimación. No es segura y únicamente algunos vehículos 4x4 comienzan a transitarla.

Una de las formas para generar mejor calidad de vida de sus habitantes sería el uso de los nacimientos de agua, como un ejemplo de aprovechamiento de los recursos naturales renovables, aplicándolos a la producción de energía eléctrica. Como la totalidad de los proyectos de abastecimiento de agua potable construidos en Guatemala, se desperdicia la energía hidráulica con el uso de cajas rompe-presión y dispositivos similares. Este es el caso de Santa Cruz La Laguna, específicamente de los nacimientos Chirij Ka'on (atrás del cerro).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de abastecimiento de agua proveniente de los nacimientos Chirij Ka'on del municipio de Santa Cruz La Laguna, tiene 5 cajas rompe-presión las cuales solo desperdician la energía hidráulica que posee el agua conducida en virtud de su caudal y caída. Esta energía estimada a priori en al menos 1,000 W/hora diarios puede aprovecharse para usos de beneficio colectivo municipal y/o comunitario de los habitantes de dicho municipio.

I. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

I.1 Entorno Geográfico

I.1.1 Departamento de Sololá

El departamento de Sololá se encuentra situado en la región VI o región Sur Occidental, su cabecera departamental es Sololá, está a 2,113.50 m sobre el nivel del mar y a una distancia de 140 km de la Ciudad Capital de Guatemala. Cuenta con una extensión territorial de 1,061 km², con los siguientes límites departamentales: al Norte con Totonicapán y Quiché, al Sur con Suchitepéquez, al Este con Chimaltenango, y al Oeste Suchitepéquez y Quetzaltenango. Se ubica en la latitud 14°46'26" y longitud 91°11'15". Su precipitación pluvial es de 2,895.9 mm, con un clima generalmente frío, aunque el departamento posee una variedad de climas debido a sus topografías, por lo que su suelo es naturalmente fértil, inmejorable para toda clase de cultivos.

Está subdividida políticamente en 19 municipios, que son:



Gráfica 1: Mapa de Sololá. Tomado de http://www.zonu.com/mapas_guatemala/m_solola.htm

- 1 Sololá
- 2 San José Chacayá
- 3 Santa María Visitación
- 4 Santa Lucía Utatlán

- 5 Nahualá
- 6 Santa Catarina Ixtahuacán
- 7 Santa Clara La Laguna
- 8 Concepción
- 9 San Andrés Semetabaj
- 10 Panajachel
- 11 Santa Catarina Palopó
- 12 San Antonio Palopó
- 13 San Lucas Tolimán
- 14 Santa Cruz La Laguna (éste es además uno de los 11, en la ribera del Lago)
- 15 San Pablo La Laguna
- 16 San Marcos La Laguna
- 17 San Juan La Laguna
- 18 San Pedro La Laguna
- 19 Santiago Atitlán

I.1.2 Datos Históricos

Sololá fue erigido en departamento por decreto de la Asamblea Constituyente del 4 de noviembre de 1825. Formó parte del Estado de los Altos en 1838, 1840, 1848 y 1849 cuando volvió a incorporarse a la República. Desde la época Prehispánica, el territorio del departamento de Sololá estuvo ocupado por tres grupos indígenas: los Quichés, Zutuhiles y Cakchiqueles. Hasta mediados del siglo XV (entre 1425 y 1475), los Quichés y Cakchiqueles formaron una sola organización política y social. Durante el reinado de Quikab el Grande, los Cakchiqueles fueron obligados a desalojar su capital, Chiavar (hoy Santo Tomas Chichicastenango) y se trasladaron a Iximché, luego del cual libraron sangrientas guerras con los Quichés. El pueblo Zutuhil por su parte, se vio obligado a pelear continuamente con los dos pueblos citados, quienes se alternaron en el control sobre dicho grupo minoritario.

Los Cakchiqueles, al igual que los Quichés, estaban integrados en linajes. De los cuatro linajes Cakchiqueles, el segundo en importancia era el de los Xahil, que ejercía dominio sobre la mayor parte del departamento y tenía su capital en el pueblo Tzoloj-já (que significa agua de sauco). Inicialmente esta sede estaba localizada en Ckhay, a 6 km de Iximché.

El departamento se fue reduciendo de extensión por decreto del 12 de agosto de 1872, el gobierno estableció el departamento del Quiché, para lo cual fueron tomados territorios de Sololá y Totonicapán.

I.1.3 Costumbres

La feria titular se celebra en la cabecera de Sololá el día 15 de agosto y se celebra la fiesta que llama Nim Akij Sololá, que significa Día Grande de Sololá.

Existe un sincretismo religioso muy arraigado, pues venera, tanto a Jesucristo y todos los santos de la Iglesia católica como al Dios del Mundo, al Dueño del Cerro, los Espíritus de los antepasados, etc. La iglesia Católica está presidida por los obispos y sacerdotes, y la religión ancestral por los Xamanes o como se les llama actualmente, los sacerdotes mayas.

Se realiza la veneración, especialmente en Santiago Atitlán, del santo conocido como Maximón, considerado un rasgo relevante en la religión de los indígenas y que ha trascendido también entre los ladinos, el cual es venerado en varias comunidades de Guatemala.

Se conserva el uso de Temascales, baños de vapor que son beneficiosos para la vida, la salud y el contacto con la naturaleza.

I.1.4 Idiomas

En este departamento, además de hablar español también se hablan tres idiomas mayas: el Quiché, Tzutuhil, Cakchiquel.

I.1.5 Economía

La base de sustentación económica de este departamento es el lago de Atitlán, pues este aparte de ser un centro turístico de gran importancia, sirve como medio de comunicación social y comercial entre los pueblos de la ribera, a la vez que surte a los habitantes de pescado, cangrejos, especies vegetales como gallaretas y tul para la elaboración de artículos artesanales. En este lago se produce una especie de pez muy pequeño conocido localmente como "Patín" que constituye un plato exquisito en la alimentación tanto de ladinos como de indígenas.

En la economía además juega un papel importante los productos agrícolas que sus habitantes cultivan, siendo el principal de estos el café; produciéndose además maíz, caña de azúcar, frijol, trigo, cebada, papa, legumbres, etcétera.

En Sololá, se cuenta con la crianza de diferentes clases de ganado, como el vacuno, caballar y lanar, siendo este departamento uno de los mayores productores de lana a nivel nacional.

Es importante resaltar que en este departamento aún se conservan, además, de las costumbres y tradiciones de sus antepasados, la artesanía, que fue el legado principal que les

quedó a sus pobladores, produciendo estos los tejidos típicos, productos de madera y cuero; siendo una de las artesanías más representativas la fabricación de piedras de moler y los muebles de madera que trabajan los pobladores de Nahualá, que son muy usados en todo el altiplano central y occidental, de este mismo municipio se conocen los artículos y adornos que elaboran de la paja del trigo.

I.1.6 Hidrografía

El accidente hidrográfico más importante lo constituye el lago de Atitlán que es una de las principales fuentes económicas del departamento, pues además de ser un centro turístico de mucho atractivo, sirve de mucho apoyo comercial.

Sirven de marco a los márgenes del Lago, los volcanes de Atitlán, Tolimán y San Pedro. El lago está situado en 5,000 pies de altura y tiene 18 kms, de longitud. Su profundidad varía y en muchos puntos es desconocida, sin embargo se han sondeado más de 350 m. respecto al origen del "Lago más bello del mundo", como es considerado Atitlán, hay dos corrientes de opinión: una de ellas opina que el lago es un viejo cráter muerto y la otra que el surgimiento de los volcanes interrumpió el curso de los tres ríos que vienen del norte, los cuales al reunir sus aguas en el lugar, dieron origen al lago. El lago no tiene desagüe visible. Varias poblaciones que tienen nombres bíblicos rodean el lago: Santa Catarina, San Antonio, San Lucas, Santiago, San Pedro, San Juan, San Pablo, San Marcos, Santa Cruz La Laguna y otros.

Característica muy particular del lago de Atitlán, es un viento fuerte conocido como Xocomil, que se produce generalmente a medio día, cuando los vientos cálidos procedentes del sur chocan con las masas de aire más frías que provienen del altiplano, formando remolinos que agitan las aguas del lago convirtiéndolas en olas muy fuertes que ponen en peligro las embarcaciones.

I.1.7 Centros Turísticos e Hidrológicos

El turismo cultural es posible debido a que este departamento cuenta con muchos centros históricos y arqueológicos que son un atractivo para los visitantes nacionales y extranjeros.

El mayor atractivo turístico de este departamento lo constituyen las playas a la orilla del lago Atitlán, ubicadas en los siguientes poblados: Panajachel, Santiago Atitlán, San Pedro la Laguna, San Lucas Tolimán, San Antonio Palopó, Santa Cruz La Laguna y pueblos situados en la ribera del lago, en total son 11 municipios.

I.1.8 Orografía

Está ubicado sobre la cordillera, por lo que presenta un paisaje abrupto, con enormes montañas y profundos barrancos. Los volcanes Atitlán, Tolimán y San Pedro lo convierten en un lugar lleno de atractivos paisajísticos, de lugares de aguas termales y de centros naturales propicios para la salud.

I.1.9 Zonas de Vida Vegetal

Zona de vida es la unidad climática natural en que se agrupan diferentes asociaciones correspondientes a determinados ámbitos de temperatura, precipitación y humedad.

Asociación: se define para esta terminología como una comunidad de especies más o menos homogéneas caracterizadas por dos especies o más dominantes.

Clasificación de las zonas de vida de Guatemala: se basa en el sistema de clasificación de HOLDRIDGE, que toma en cuenta tres aspectos del ambiente:

- a) La biotemperatura: (puede calcularse sumando las temperaturas sobre cero grados hasta treinta grados centígrados de cada mes y se divide entre 12). Estas temperaturas se toman ya que se considera que debajo de cero grados centígrados y sobre treinta grados centígrados no existe vida vegetativa activa.
- b) Precipitación pluvial: Se refiere al total promedio anual de agua expresada en milímetros que cae de la atmósfera, ya sea como lluvia, nieve o granizo.
- c) Humedad: está determinada por la relación entre temperatura y precipitación.

Según HOLDRIDGE se identifican en Guatemala once zonas de vida, cada una de ellas tiene una simbología específica, por ejemplo monte espinoso subtropical se representa por medio de me-S, bosque seco subtropical por bs-S, bosque húmedo subtropical (cálido) por bh-S(c).

A pesar de ser un departamento totalmente montañoso, en Sololá pueden apreciarse cuatro zonas topográficas:

1. Bosque muy húmedo subtropical cálido bmh-S (c).
2. Bosque húmedo montano bajo subtropical bh-MB
3. Bosque muy húmedo montano bajo subtropical bmh-MB
4. Bosque muy húmedo montano subtropical bmh-M

I.1.10 Áreas Protegidas

Son áreas protegidas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible.

Dentro de las zonas declaradas como áreas protegidas se encuentran: la Cuenca del Lago de Atitlán, que cuenta con una superficie de 62, 500 hectáreas, administradas por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP. Volcán de Atitlán sin contar aún con el tamaño de la superficie del terreno, y es administrado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP.

Volcán San Pedro, sin contar aún con el tamaño de la superficie del terreno, y es administrado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP.

Volcán Tolimán, sin contar aún con el tamaño de la superficie del terreno, y es administrado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP.

I.1.11 Vías de Comunicación

Su principal medio de comunicación es la carretera que atraviesa su territorio y esta es la Interamericana CA-1 que hacia el occidente conduce a Quetzaltenango hasta llegar a la frontera con México. Cuenta también con las Rutas Nacionales 11 y 15, así como con adecuadas rutas departamentales que unen a los diferentes municipios entre sí y con los departamentos vecinos. Cuenta con 152 km de asfalto, 133 km de terracería y 99 km de caminos rurales.

I.1.12 Geología

Abarca los aspectos caracterizados por medio de investigaciones y estudios de los orígenes de los suelos de Guatemala, para determinar el período o era en que se inició su formación, la composición de cada uno de los 22 departamentos que componen el país, la existencia de volcanes y si las fallas sísmicas atraviesan o pasan por cada uno de ellos.

I.1.13 Uso Actual de la Tierra

Establece la utilidad que en éste departamento se le está dando a la tierra, ya sea con fines de explotación por medio de cultivos, de pastoreo de ganado, de urbanización, conservación de suelos, bosques naturales, bosques implantados, etc. Teniéndose de esta manera la oportunidad de poder determinar la producción de este departamento y el desarrollo económico y social.

I.2 Conceptualización Básica

- **Calentamiento global: Calentamiento global** es un término utilizado habitualmente en dos sentidos:
 1. Es el fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas.
 2. Es una teoría que predice, a partir de proyecciones basadas en simulaciones computacionales, un crecimiento futuro de las temperaturas.

Algunas veces se utilizan las denominaciones cambio climático, que designa a cualquier cambio en el clima, o cambio climático antropogénico, donde se considera implícitamente la influencia de la actividad humana. Calentamiento global y efecto invernadero no son sinónimos. El efecto invernadero acrecentado por la contaminación puede ser, según algunas teorías, la causa del calentamiento global observado.

- **Cambio climático:** El Cambio Climático Global, una modificación que le es atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica, agregada a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo.

- **Caudal ecológico:** referida a un río o a cualquier otro cauce de agua corriente, es una expresión que puede definirse como el agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce del mismo, como:
 1. Los hábitats naturales que cobijan una riqueza de flora y fauna.
 2. Las funciones ambientales como dilución de contaminantes.
 3. Amortiguación de los extremos climatológicos e hidrológicos.
 4. Preservación del paisaje.

La determinación del caudal ecológico de un río o arroyo se hace según un cuidadoso análisis de las necesidades mínimas de los ecosistemas existentes en el área de influencia de la estructura hidráulica que en alguna forma va a modificar el caudal natural del río o arroyo.

- **Conciencia socio-ambiental:** La conciencia ambiental puede definirse como el entendimiento que se tiene del impacto de los seres humanos en el entorno. Es decir, entender como influyen las acciones de cada día en el medio ambiente y como esto afecta el futuro de nuestro espacio.
- **Desarrollo económico:** El desarrollo económico es la capacidad de países o regiones para crear riqueza a fin de promover o mantener la prosperidad o bienestar económico y social de sus habitantes. Se conoce el estudio del desarrollo económico como la economía de desarrollo.

La política pública generalmente apunta al crecimiento continuo y sostenido económico y la extensión de la economía nacional de modo que “los países en vía de desarrollo” se vuelvan “países desarrollados”. El proceso de desarrollo económico supone ajustes legales e institucionales que son hechos para dar incentivos para fomentar innovaciones e inversiones con el propósito de crear un eficiente sistema de producción y un sistema de distribución para los bienes y los servicios.

- **Desarrollo eco-ambiental:** el término se refiere a la parte del desarrollo sostenible que toma en cuenta los aspectos ambientales, que junto con los aspectos sociales y económicos, contribuyen al desarrollo sostenible de los recursos necesarios para la supervivencia de la humanidad.
- **Desastres naturales:** los fenómenos naturales, como la lluvia o el viento, se convierten en desastre natural cuando superan un límite de normalidad, medido generalmente a través de un parámetro. Éste varía dependiendo del tipo de fenómeno (escala de Richter para movimientos sísmicos, escala Saphir-Simpson para huracanes, etc.).

Los efectos de un desastre natural pueden amplificarse debido a una mala planificación de asentamientos humanos, falta de medidas de seguridad, planes de emergencia y sistemas de alerta temprana, entre otros, por lo que a veces la frontera entre los desastres naturales y los desastres provocados por el hombre (efectos antropogénicos).

- **Energía Hidráulica:** Es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua y, una vez utilizada, es devuelta río abajo. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales y el bajo mantenimiento que precisan una vez estén en funcionamiento centran la atención en esta fuente de energía.
- **Energía limpia:** es un término que describe la energía generada a partir de fuentes de energía primaria respetuosas del medio ambiente. Las energías verdes son energías renovables que no contaminan, es decir, cuyo modo de obtención o uso no emite subproductos que puedan incidir negativamente en el medio ambiente.

Actualmente, están cobrando mayor importancia a causa del agravamiento del efecto invernadero y el consecuente calentamiento global, acompañado por una mayor toma de conciencia a nivel internacional con respecto a dicho problema. Asimismo, economías nacionales que no poseen o agotaron sus fuentes de energía tradicionales (como el petróleo o el gas) y necesitan adquirir esos recursos de otras economías, buscan evitar dicha dependencia energética, así como el negativo en su balanza comercial que esa adquisición representa.

- **Energía no renovable:** La energía no renovable es un término genérico referido a aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y que, una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, ya que no existe sistema de producción o extracción viable, o la producción desde otras fuentes es demasiado pequeña como para resultar útil a corto plazo.

Fuentes de energía no renovables son:

1. Los combustibles fósiles
2. Los combustibles nucleares

- **Energía renovable:** Las fuentes renovables de energía se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta. Son aquellas que se regeneran y son tan abundantes que podrían perdurar por cientos o miles de años, usadas con responsabilidad, no destruyen el medio ambiente. La electricidad, calefacción o refrigeración generados por las fuentes de energías renovables, consisten en el aprovechamiento de los recursos naturales como el sol, el agua, el

viento, los residuos agrícolas u orgánicos. Incrementar la participación de las energías renovables, asegura una generación de electricidad sostenible a largo plazo, reduciendo la emisión de CO₂. Aplicadas de manera socialmente responsable, pueden ofrecer oportunidades de empleo en zonas rurales y urbanas y promover el desarrollo de tecnologías locales.

- **Erosión:** Se denomina erosión al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciario, el viento, los cambios de temperatura o la acción de los seres vivos. El material erosionado puede estar conformado por:
 1. Fragmentos de rocas creados por abrasión mecánica por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales o diurnas.
 2. Suelos, los cuales son creados por la descomposición química de las rocas mediante la acción combinada de ácidos débiles disueltos en agua superficial y meteórica, hidrólisis, ácidos orgánicos, bacterias, acción de plantas, etc.

La erosión es uno de los principales actores del ciclo geográfico.

- **Efecto invernadero:** El efecto invernadero es uno de los principales factores que provocan el calentamiento global de la Tierra, debido a la acumulación de los llamados gases invernadero CO₂, NO_x (óxidos de nitrógeno), CH₄ y CFC's y MCFC en la atmósfera; adicionalmente se ha detectado el efecto del hollín responsable del 18% del calentamiento, que emite la combustión de leña.
- **Impacto ecológico:** se entiende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración del medio ambiente, debido a la erosión o a eventos naturales.
- **Sostenibilidad:** Sostenibilidad y su sinónimo sustentabilidad se refieren al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovabilidad del mismo.

Un ejemplo típico es el uso de madera proveniente de un bosque: si se tala demasiado el bosque desaparece; si se usa la madera por debajo de un cierto límite siempre hay madera disponible. En el último caso la explotación del bosque es sostenible o sustentable. Otros

ejemplos de recursos que pueden ser sostenibles o dejar de serlo, dependiendo de a qué velocidad se exploten, son el agua, el suelo fértil o la pesca.

Cuando se excede el límite de la sostenibilidad, es más fácil seguir aumentando la insostenibilidad que volver a ella.

- **Sustentabilidad:** La capacidad de una sociedad humana de apoyar en su medio ambiente el mejoramiento continuo de la calidad de vida de sus miembros para el largo plazo; las sustentabilidades de una sociedad son función del manejo que ella haga de sus recursos naturales y puede ser mejorada indefinidamente.

II. CAPÍTULO 1

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Historia de la Energía Hidráulica

- **La Rueda Hidráulica**

Las necesidades de alimento y el desarrollo de las fuerzas productivas en civilizaciones más avanzadas, como los romanos, en su tecnología implementan uno de los motores más antiguos, el hidráulico; que consiste en la rueda hidráulica, conformada por una serie de palas dispuestas en forma de rueda; el agua, al caer, choca contra las palas e impulsa a éstas con lo que se consigue el movimiento de la rueda, en tal sentido se obtiene mayor eficiencia en la actividad productiva.

Fueron los griegos los que primero utilizaron la energía hidráulica, quienes empleaban la rueda hidráulica llamada noria, para bombear agua. Fue inventada por Filón de Bizancio en el siglo III a.C. no obstante, las primeras referencias detalladas de la rueda hidráulica; así como sus aplicaciones vienen desde tiempos del Imperio romano, cuando aparece la rueda hidráulica horizontal, también llamada “molino romano” y el molino de rueda vertical de paletas, que generalmente es denominado “molino tipo vitruviano”, llamado así en honor al Ingeniero romano Vitruvio quien estudió y documentó este tipo de rueda, que desarrollaron los romanos ante la insatisfacción del uso de la rueda horizontal de los griegos, debido a su baja eficiencia. Este tipo de molino descrito por Vitruvio fue el más común por muchos siglos, no sólo en Europa sino también en América, muchos siglos después.

Lugares tales como la provincia de Hispania, reconocida como parte importante en la producción y exportación de granos para Roma, en donde casi la totalidad del grano era molido por la rueda hidráulica para obtener harina, materia prima básica en la fabricación de pan, que constituía el principal pilar de la dieta de la época. La mayoría de los molinos de grano estaban constituidos por dos muelas (una fija llamada solera y otra móvil o corredera), éstas eran poco peraltadas y de pequeño diámetro, y podían moverse gracias al movimiento de la rueda producida por el agua, y en algunas ocasiones con la ayuda de un hombre, a través de un taladro en el que se encajaba un mango de madera que se empuñaba con una mano.

Con menor frecuencia han aparecido en otras provincias romanas molinos de muelas muy peraltadas, llamados molinos pompeyanos debido a los magníficos ejemplares de este tipo

hallados en la ciudad de Pompeya. Estos molinos requerían, por su tamaño mucho mayor, ser tirados por asnos y tenían naturalmente una capacidad de molienda bastante mayor.

Además de los griegos y los romanos, en la antigüedad los egipcios emplearon la Sakia, (rueda hidráulica de compartimientos o cubos) para elevar agua. Se piensa que quizá también los sumerios emplearon la rueda hidráulica con otros fines.

Más adelante, la rueda hidráulica se transformó en la gran máquina de la Edad Media, utilizándose en molinos harineros, en aserraderos, martillos y bombas, para accionar fuelles, para la batanadura de la lana, para exprimir la caña dulce, primer paso para la fabricación del azúcar; incluso fueron usadas ruedas hidráulicas para ayudar en el proceso de extracción de los minerales en la famosa mina del Potosí, en Bolivia. Las grandes ruedas hidráulicas medievales de madera desarrollaban una potencia máxima de cincuenta caballos de fuerza. En este tiempo se las empleó tanto en posición vertical, como en posición horizontal para mover directamente una estructura vertical.

Siendo una máquina de tan diversa aplicabilidad, a lo largo de la historia muchos se interesaron en el desarrollo de la rueda hidráulica. Hasta el famoso Leonardo Da Vinci diseñó una rueda que era capaz de llenar una torre de agua, quizás para suplir las necesidades de este recurso a un pueblo.

La hidráulica tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial, impulsó las industrias textiles y del cuero y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX, para esta época ya se encontraban por lo menos medio millón de ruedas en Europa, en minas e industrias. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible. Se sabe que “La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América hasta la construcción de canales a mediados del siglo XIX, cuando se obtuvo carbón a bajo precio. Estas ruedas hidráulicas continuaron aplicándose en diversos campos durante mucho tiempo.” (2)

Esta evolución panorámica permite ver que, aunque estas últimas ruedas hidráulicas sufrieron algunas modificaciones, no se presentaron cambios significativos hasta que en 1848 apareció la turbina a reacción de Francis, en 1880 la de impulsión de Pelton y en 1906 la de Kaplan. De donde proviene la transformación de las ruedas hidráulicas en las modernas turbinas, ruedas rápidas y de buen rendimiento, que abren un nuevo campo de colaboración en el campo de la producción de energía motriz, gracias al descubrimiento de la inducción electromagnética que permite transformar la energía del agua en electricidad.

Por lo tanto, a pesar de la aparición de las turbinas de acero, de mayor potencia y más eficientes que las ruedas hidráulicas, en algunos países como Inglaterra estos molinos continuaron siendo útiles durante mucho tiempo. Esto se debió principalmente a que podían ser construidos con materiales disponibles en la región (como madera y bambú), y con esto se podía bombear agua o realizar una gran variedad de tareas relacionadas con el procesamiento de granos, lo que favoreció inmensamente a los pequeños productores. Los existentes canales de irrigación y pequeñas corrientes ofrecían muchos sitios potenciales en los cuales se podían realizar estos trabajos a muy bajos costos.

Por ejemplo, para 1850, los británicos habían construido un gran número de ruedas hidráulicas para uso industrial, que producían de 65 kW a 190 kW, con diámetros entre 7 y 12 metros. Algunas de estas ruedas fueron dejadas en funcionamiento por más de 100 años. La construcción de tales máquinas sería muy costosa ahora; pero ruedas más pequeñas (en un rango de 0.3 a 0.5kW) todavía son consideradas económicamente viables en algunos lugares.

En Hispanoamérica, se encuentran algunos de los registros sobre las primeras ruedas hidráulicas que tienen que ver principalmente con el desarrollo en las grandes haciendas en la época republicana, por ejemplo, en Colombia. Hacia 1853 había en la hacienda de La Puerta, abajo de Fusagasugá, un trapiche hidráulico, y otro en Arroyohondo cerca de Cali. Fue mucho más tarde cuando en La Manuelita, se instaló el primer trapiche accionado por rueda Pelton. En la hacienda "El Buque", cerca de Villavicencio, en 1870 estaba recién instalada una pilladora de arroz con rueda hidroeléctrica.

- **Funcionamiento de la Rueda Hidráulica**

Hay diversos tipos de ruedas hidráulicas, pero en cualquier caso el funcionamiento es siempre el mismo: mediante un canal se desvía cierta cantidad de agua del río, la cual se hace entrar a gran velocidad y en cantidad suficiente en el molino. Al llegar, el agua choca contra las palas de una rueda hidráulica que transmite a lo largo de su eje el movimiento a otras piezas tales como poleas, engranajes o bielas que comunican el giro de la rueda hidráulica a las muelas, los martinetes o cualquier otro mecanismo que gire u oscile.

Dependiendo de su funcionamiento y al mecanismo de llegada del agua, las ruedas hidráulicas verticales se clasifican en las siguientes:

- **Rueda Hidráulica con Canal de Alimentación Superior**

La rueda se desliza empujada por el agua que llega desde arriba, permitiendo una mayor explotación del agua disponible debido a que esta cae y la fuerza de gravedad realiza todo el

efecto. Se usa en lugares donde hay alturas suficientes y el caudal es muy poco. La gran ventaja radica en su rendimiento (80 a 90 %), aunque lograr la impermeabilidad en su fabricación tiene bastante dificultad.

- **Rueda Hidráulica con Canal de Alimentación en la Altura del Eje**

El agua entra en la rueda en la altura del eje. Su eficiencia es menor que en el caso de las ruedas con canal de alimentación superior. Se necesita un empaque entre la rueda y el canal de alimentación.

Se usa este tipo de rueda en casos donde hay muchos cambios en el nivel del agua de entrada y de salida.

- **Rueda Hidráulica con Canal de Alimentación Inferior**

Este es el tipo de rueda más simple. Estas, aprovechan sólo el impulso de la corriente del agua, aunque el problema de esta consiste en que no hace uso del peso del agua que cae y, en lugar de eso, depende del flujo de la fuente de agua. Su rendimiento es muy bajo (15 a 20 %) en el caso de un canal de alimentación forzado. En los molinos de barco el rendimiento es aún más bajo porque el agua tiende a desviarse a los lados de la rueda.

- **Rueda Hidráulica Reversible**

Es una rueda hidráulica con canal de alimentación superior con la posibilidad de cambiar el sentido de rotación, esto permite que sea utilizada para levantar cargas.

Desde su inicio, se desarrollaron varios mecanismos para encender y apagar maquinarias independientes movidas por las ruedas hidráulicas, para detener las operaciones en los molinos frecuentemente se pueden encontrar compuertas que controlan el flujo del agua que va a las aspas y luego para desacoplar algunas maquinarias, las correas de los engranajes son empujadas hacia poleas que rotan libremente, para que así éstos no sean empujados por el eje principal de la rueda.

La historia de la rueda hidráulica, permite no sólo conocer desde cuando data sino que darse cuenta que estas ruedas hidráulicas aunque han sido reemplazadas por maquinaria mucho más eficiente, han sido vitales en los procesos productivos, en la evolución de la tecnología y en la alimentación y el conocimiento de la humanidad.

Entre los siglos IX al XII se considera “la edad de oro” de la hidráulica arabo-musulmana.

La hidráulica, en la Península Ibérica, tuvo un gran momento de desarrollo, y en general de la hidráulica árabe. Desde su aplicación, han conseguido movilizar las aguas de los ríos existentes utilizándolos en beneficio de la irrigación, de las instalaciones industriales y para la alimentación con agua potable de las poblaciones, en las nuevas ciudades. En el río Guadalquivir al sur de España, se encuentran los embalses más antiguos. Los ingenieros árabes han desarrollado tanto la técnica de embalse de derivación como la de embalses de reserva. Las obras de la ciudad de Córdoba se citan a menudo, por las múltiples funciones: accionar los molinos de agua, proteger la ciudad contra los males y alimentar la ciudad con agua potable.

En Andalucía, “además de los trabajos de movilización, de transporte y de distribución del agua, Al-Ándalus; se distingue por la plaza reservada al maquinismo hidráulico. Los testimonios de arqueólogos indican utilización de ruedas hidráulicas (norias), de máquinas con arcaduces (sanlya), de molinos de agua y de otros equipos hidráulicos, como los péndulos o balancines.” (3)

Entre los alcances de la Hidráulica y la explotación de las aguas subterráneas, se obtiene un mejor rendimiento con la adopción de la tecnología revolucionaria de galerías subterráneas capaces de drenar dicho líquido y así va evolucionando en el transcurso del tiempo.



Gráfica 2: Molinos para moler harina de granos, sobre el río Sena, Francia, Siglo X. Biblioteca Nacional de Paris, Historia del Mundo pp. 142

o **La Turbina**

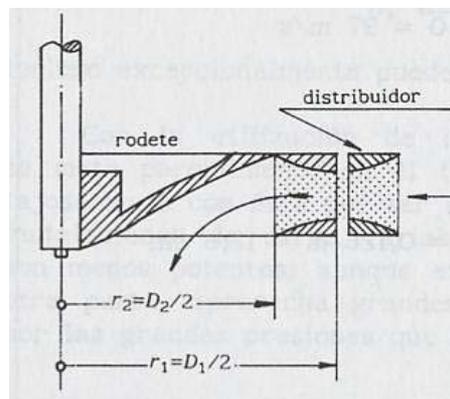
El siguiente paso en la historia de la Hidráulica, fue la turbina. La popularidad de la energía alternativa se debe a la tecnología de la turbina. Las turbinas se encuentran en la parte principal de la producción energética, de tres diversas formas de la energía alternativa: La energía atómica, la potencia del viento, y la potencia hidroeléctrica, son energías que se derivan del uso de una turbina y otras máquinas llamadas generadores.

La turbina es una máquina rotativa que transforma en energía mecánica una parte de la energía de la corriente circulante de un fluido; esa energía mecánica puede ser aplicada seguidamente a un trabajo útil, tal como la generación de electricidad en una central eléctrica.

Etimológicamente, turbina viene del latín turbo-inem, que significa rotación o giro de cualquier cosa. La potencia hidroeléctrica probablemente es la forma más rentable de fuente de energía alternativa disponible. Si la fuente de agua no es abundante, la hidroelectricidad sigue siendo una fuente auxiliar excelente de la potencia, usada conjuntamente con paneles solares. Un sistema relativamente pequeño de la hidroelectricidad puede sostener a una comunidad pequeña, y un sistema de bajo costo se puede diseñar para generar hasta de 1500 W de potencia.

- **La Turbina Francis**

Como todas las turbinas de reacción, es de admisión total, el agua entra por toda la periferia del rodete. En consecuencia, un mismo caudal así repartido requiere un rodete que puede resultar mucho menor que el de una rueda Pelton equivalente. Este tipo de turbina fue diseñada por el ingeniero inglés James B. Francis (1815-1892). Era una turbina totalmente centrípeta de estructura radial. Se puede observar dos partes, el distribuidor que es una parte fija a través de la que se admite el agua en el rodete, que es la segunda parte que es móvil y solidario al eje.

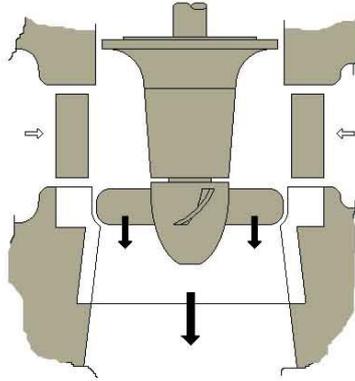


Gráfica 3: Turbina Francis, "Mecánica de Fluidos Incompresibles y Turbo-máquinas Hidráulicas", del Catedrático Profesor D. José Agüera Soriano.

- **Turbina Kaplan**

Fue diseñada por el Dr. técnico Víctor Kaplan (1876-1934) en el principio del siglo XX. A diferencia de los otros tipos de turbinas se puede ajustar ambos álabes (los del rotor y los álabes

de guía) para adaptar la turbina a diferentes niveles del caudal. Los ejes son de orientación horizontal ó vertical. Se usa este tipo de turbina en plantas de presión baja y mediana.



Gráfica 4: Turbina Kaplan. Tomado:

<http://www.profesorenlinea.cl/imagenfisica/CentralHidro041.jpg>

- o **La Turbina Michell – Banki**

Es una turbina de acción de flujo transversal, de admisión parcial y de doble efecto, que posee como elementos principales un inyector o tobera, que regula y orienta el flujo de agua que ingresa a la turbina; y un rodete que genera potencia al eje de la turbina al recibir el impulso del flujo de agua que circula por la misma

Es una turbina muy buena para caudales y caídas medias. A nivel de micro-central no suele superar los 30 m por las dimensiones tan reducidas que resultan en el rodete.

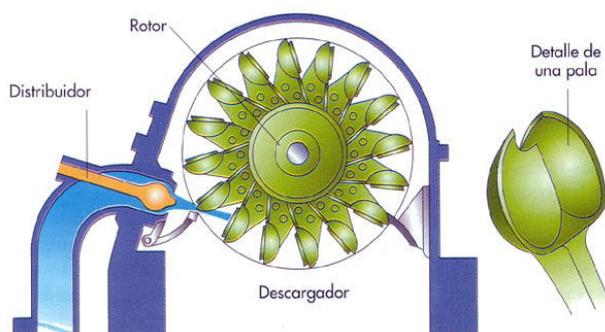


Gráfica 5: Turbina Michell – Banki. Tomado: www.itdg.org.pe/fichastecnicas/pdf/Fichatecnica2-Turbina%20michell%20bankL.

- **La Turbina Pelton**

La turbina Pelton debe su nombre al ingeniero norteamericano Lester Allen Pelton (1829-1908), quien en busca de oro en California concibió la idea de una rueda con cucharas periféricas que aprovecharan la energía cinética del agua que venía de una tubería y actuaba tangencialmente sobre la rueda. Por fin en 1880 patentó una turbina con palas periféricas de muy particular diseño, de tal manera que el chorro proveniente de la tubería golpea el centro de cada pala o cuchara con el fin de aprovechar al máximo el empuje del agua.

A las cucharas y palas que mencionamos anteriormente se les nombran Álabe. El álabe tiene la forma de doble cuchara, con una arista diametral sobre la que incide el agua produciéndose una desviación simétrica en dirección axial, buscando un equilibrio dinámico de la máquina en esa dirección. Los álabe deben estar colocados lo más cerca posible a los inyector, debido a que la distancia hace decrecer la energía cinética del agua.



Gráfica 6: Turbina Pelton, WKV Inc. Tomado: members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm

- **Historia de la Hidroenergía**

La hidroenergía, al igual que la energía eólica y solar, es un recurso energético "limpio" y renovable, cuyo adecuado aprovechamiento tiene un bajo impacto ambiental, el recurso hídrico se utiliza como importante recurso energético en casi todos los países del mundo.

La potencia obtenida a través de los recursos hidráulicos depende del volumen de agua que fluye por unidad de tiempo y de la altura de caída de ésta. Una central hidroeléctrica es un conjunto de obras destinadas a convertir la energía cinética y potencial del agua, en energía utilizable como es la electricidad. Esta transformación se realiza a través de la acción que el agua

ejerce sobre una turbina hidráulica, la que a su vez le entrega movimiento rotatorio a un generador eléctrico.

La energía hidráulica convencional, aquella utilizada para generación eléctrica en grandes centrales conectadas a sistemas eléctricos, es una de las fuentes primarias principales de abastecimiento energético, en Europa, en China, en Estados Unidos, entre otros. La energía hidráulica no convencional como las mini y micro centrales hidroeléctricas y los hidro-cargadores, se consideran como energías renovables no convencionales, debido a su menor nivel de implementación y a que en los sectores rurales se constituyen en una alternativa para el aprovisionamiento de electricidad.

1.1.2 Aplicaciones Paradigmáticas

- **Los Jardines Colgantes de Babilonia**

En la ciudad de Babilonia y sus Jardines Colgantes, que es considerada una de las 7 maravillas del mundo antiguo, se encuentra un magnífico modelo de la aplicación de la energía del agua, es debido a su magnífica arquitectura y a la utilización de la energía hidráulica con un sistema de riego altamente organizado y eficiente, que se convierte en un Paradigma.

Hace dos mil años, Babel, a la orilla del río Éufrates, como es llamada en la Biblia, la ciudad destruida por los asirios, es reconstruida con la ayuda de medos y escitas de una manera planificada con visión del uso del agua de manera extraordinaria.

Cuenta la Historia el siguiente pasaje: “Estamos a mediados del siglo VI a. de C., y gobierna el rey Nabucodonosor II, el más famoso de todos los del mismo nombre. Además de un gran guerrero y conquistador, Nabucodonosor es también un gran arquitecto: la ciudad rebosa de construcciones monumentales; sin embargo, algo se echa de menos en esta majestuosa ciudad: todo es demasiado llano, demasiado rectilíneo. Si subimos lo suficientemente alto, veremos toda la ciudad de un vistazo. Esto entristece a Amytis, la esposa de Nabucodonosor. Ella es una princesa meda, y se crió en montes y colinas exuberantes de vegetación. Esta tristeza disgusta al rey. ¡Él, que ha vencido en todas las batallas, que ha levantado de la nada una ciudad impresionante, no consigue devolver la alegría a su esposa! Eso no puede ser. ¿Amytis echa de menos sus colinas? Pues no faltaba más: él se las construirá. ¿Acaso no es el más famoso constructor de su tiempo? En seguida ordena traer grandes piedras, pues los ladrillos utilizados normalmente no resisten bien la humedad. Así, edifica una serie de terrazas escalonadas en las cuales depositan la tierra necesaria y empieza a plantar árboles, flores, arbustos, etcétera. También construye una máquina semejante a una noria que transportará el agua desde un pozo hasta los jardines para regarlos. En

poco tiempo, éstos rebosan de vegetación, y las copas de sus árboles se divisan incluso desde fuera de las dobles murallas de la ciudad. Nabucodonosor ha conseguido crear un aparente monte cubierto de verdeante vegetación.”(ibíd pag. 140)

- **La Alhambra**

La Alhambra es una ciudad amurallada, que ocupa la mayor parte del cerro de La Sabika. La ciudad de Granada tenía su propio sistema de amurallamiento, por tanto la Alhambra podía funcionar con autonomía respecto a Granada. En la Alhambra se encontraban todos los servicios propios y necesarios para la población que vivía allí: palacio real, mezquitas, escuelas, talleres, acueductos, acequias, fuentes, etcétera.

En 1238 entra en Granada por la Puerta de Elvira, y para ocupar el Palacio del Gallo del Viento, Mohamed-Ben-Nazar (o Nasr), llamado Al-Hamar el Rojo (ya que tenía la barba roja). Cuando Ben-Al-Hamar (Mohamed-Ben-Nazar) entró triunfador en Granada en ese año de 1238, la población le recibió con el grito de Bienvenido el vencedor por la gracia de Alá, a lo que él respondió: Solamente Alá vence. Éste es el lema del escudo nazarí y también está escrito por toda la Alhambra, Ben-Al-Hamar construyó el primer núcleo del palacio. Su hijo Mohamed II, que fue amigo de Alfonso X el Sabio, de España, lo fortificó. La forma del uso del agua constituye una las obras paradigmáticas de su ingeniería y arquitectura, el estilo granadino en la Alhambra es la culminación del arte andalusí, lo que ocurrió a mediados del siglo XIV con Yusuf I y Mohamed V entre 1333 y 1354.

“En 1492, con la conquista de Granada por los Reyes Católicos, la Alhambra pasa a ser palacio real. El conde de Tendilla, de la Familia de Mendoza, fue el primer alcaide cristiano de la Alhambra, Hernando del Pulgar, cronista de la época, cuenta: El conde de Tendilla y el Comendador Mayor de León, Gutierre de Cárdenas, recibieron de Fernando el Católico las llaves de Granada, entraron en la Alhambra y encima de la torre de Comares alzaron la cruz y la bandera.” (3)

El Comité del patrimonio mundial de la Unesco declaró la Alhambra y el Generalife de Granada, como Patrimonio Cultural de la Humanidad en su sesión del día 2 de noviembre de 1984 y cinco años después, el barrio de El Albaicín (Al Albayzín), antigua ciudad medieval musulmana, obtuvo la misma denominación como extensión de la declaración como Patrimonio Cultural de la Humanidad de La Alhambra y el Generalife. La Alhambra fue uno de los 21 candidatos finalistas para ser elegida una de las Nuevas Siete Maravillas del Mundo, aunque finalmente no consiguió tal título. Entre algunos de los recintos que son distintivos de este complejo arquitectónico y muestran el uso eficiente y decorativo del agua, está:

- **El Patio de la Alberca o de los Arrayanes**

Es el recinto central de Palacio de Comares. A ambos lados de la alberca, que ocupa gran parte del patio, hay plantados arrayanes. En este patio se puede encontrar uno de los temas ambientales de la Alhambra: la exuberante presencia del agua. Y no sólo actuando como tal, es decir, agua, sino también como espejo. Precisamente en esta alberca se refleja la imponente Torre de Comares. En un extremo hay una galería a lo ancho del patio y en sus extremos, las alcobas de tertulia, el marco perfecto de la vida de palacio, las fuentes y sus jardines.

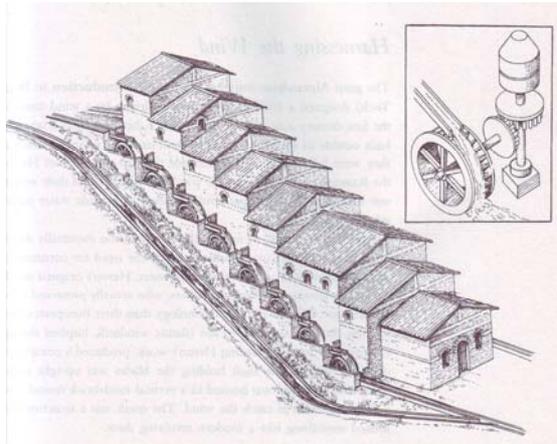
- **Época Greco-Romana**

Durante la época greco-romana aproximadamente por el siglo II a.C. se utiliza la energía hidráulica antes de la difusión de la rueda hidráulica. En el S. I a.C. el Ingeniero y escritor romano Vitruvio, ya menciona los molinos hidráulicos, según el proceso de su evolución y eficiencia.

También en los versos del poeta griego Antípater de Tesalón se encuentra descrito el proceso de la rueda hidráulica en una forma poética. Menciona que este proceso está también al servicio de los humanos para mejorar la calidad de vida. El verso dice: “Dejad de moler, oh mujeres que trabajáis en el molino/ Seguid durmiendo aunque los gallos canten la llegada del alba. / Demeter* ha ordenado las ninfas del agua que hagan ellas vuestra tarea. Saltando en la rueda, hacen girar el eje que hace moverse las grandes piedras trituradoras”. *Diosa de la agricultura.

En Pompeya, la ciudad del S. I d.C, que fue destruida el 24 de agosto del año 79 d.C. Las excavaciones son testimonio de la utilización de molinos hidráulicos además del molino por tracción animal “mola asinaria”, como ya se indicó en el proceso de evolución de la rueda hidráulica.

Los molinos en hileras, a veces doble, construidos en los siglos II y III en Barbegal, al sur de Francia, eran molinos romanos en un complejo industrial harinero. 16 molinos tipo aceña con rueda vertical de aletas: pasa el agua a los primeros, al pasar el agua se las suministraba a un acueducto y mientras, las demás utilizaban, la del anterior. Esta factoría romana molía 27 toneladas de trigo al día, suficiente para alimentar a 12,500 personas.



Gráfica 7: Molino de Hileras. Tomado de Ancient Inventions pp. 391

- **Huelva, Andalucía**

La construcción de la rueda hidráulica con bronce y madera de roble, pino piñonero, abeto y pinsapo. Expuesta en el museo de Huelva tiene un diámetro de 4.30 m; peso de 130,700 kg. Es un modelo que fue elaborado en los Siglos I-II d.C. y que actualmente es de los pocos vestigios que quedan.

Ingenio mecánico de elevación de aguas usado para extraer el agua del interior de las minas. Los elementos que la componen y cada una de las piezas que la forman están ensamblados mediante espigas de madera (de sección cuadrada) o mediante un sistema de caja y espiga.



Gráfica 8: Procedencia: Masa Planes, Minas de Riotinto, Huelva, España.

- **Medioevo**

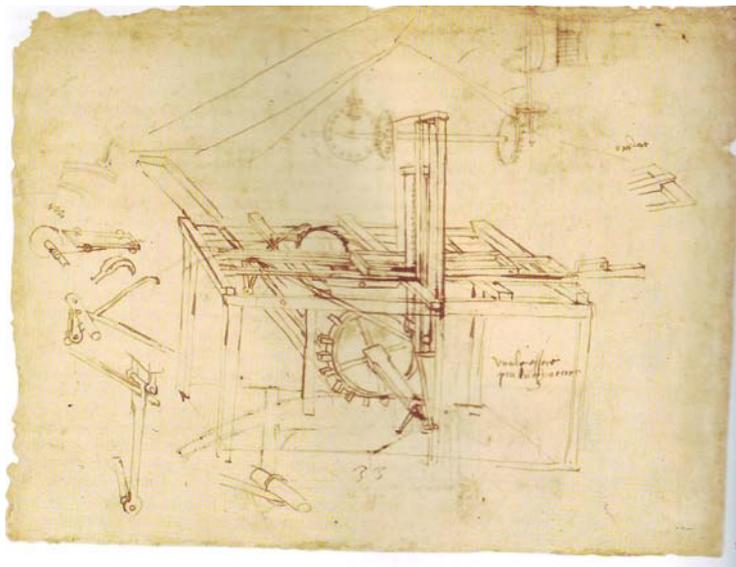
En el siglo XIII se incorporo el “cubo”, era una gran depósito para aumentar la presión del agua de poco caudal corrientes como arroyos.

En el siglo XVI durante el reinado de Felipe II, Juanelo Turriano, dedicó el libro XI de su obra a “los ingenios y las máquinas” al estudio de los molinos; que funcionaban con el movimiento de la rueda hidráulica, movidas por la corriente de los ríos, se le atribuye la obra también al ingeniero italiano del S. XVI, José Francisco Sitoni.

- **Máquinas de Da Vinci**

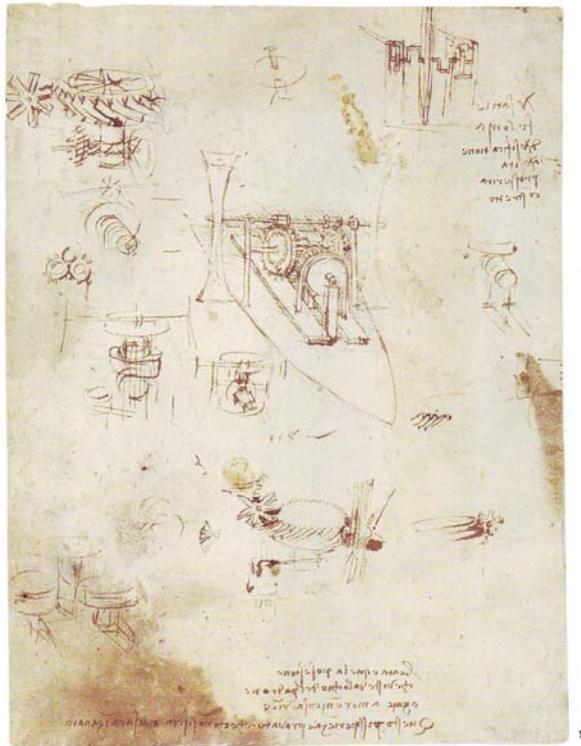
La representación visual con las correctas perspectivas de representación espacial pueden apreciarse en los dibujos de Leonardo Da Vinci, el más grande inventor y creador de los ingenieros del “Quattrocento” (Cuatro Chento) italiano o sea del siglo XV.

Máquina de Hilar Hidráulica: Un folio (No.1078) probablemente del códice Atlanticus muestra la Máquina de Hilar Hidráulica que data del año de 1478. El Sketch deja ver en su contexto el funcionamiento de la máquina de Hilar, dice Benvenuto della Golpaja, que al leer el término “Telaio”, la escritura es inconfundible de Da Vinci y se nota un manuscrito en la parte de atrás como lo solía hacer Leonardo explicando el mecanismo por medio de la rueda hidráulica; así con el diagrama explica la rotación de la rueda movida por el agua con la energía necesaria para hacerla trabajar y que la máquina teja la tela. (Traducción libre de la autora)



Gráfica 9: Máquinas de Da Vinci. Tomado de Leonardo’s Machines. pp. 134-135

Barco de Remos de Paleta: El mecanismo que mueve al barco, consiste en un sistema de propulsión por debajo del agua, de manera rotativa. En el campo de la navegación Leonardo busca soluciones para las naves, la comunicación más rápida y para usar en tiempos de guerra. El diseño de las paletas moviéndose en el río o en el mar incrementa la velocidad del bote o buque. Este folio (No. 1063) del código Atlanticus, data de 1489. Las notas son en latín con su típica escritura manuscrita.



Gráfica 10: Barco de Remos de Paleta. Op.Cit pp. 140-141

Draga, máquina para dragar (o rastra): En los últimos años de su vida, Leonardo, realizó un estudio que consta de 96 hojas, como otro código, que contiene una máquina que puede dragar en el río o en el mar. Este proyecto que data de 1514 es muy complejo de construir, consiste en un juego de dibujos acompañados de notas que describen las posibilidades de uso, las modificaciones en los márgenes y el funcionamiento detallado de la dragadora. La base del mecanismo es la rueda hidráulica en medio de dos botes; en la época moderna puede relacionarse al principio del Catamarán. Esta máquina expresa la complejidad de los inventos que trabajan automáticamente por medio de la energía hidráulica en consecuencia también es una prueba de los avances que ha alcanzado el trabajo de Leonardo. Evidencia las necesidades de la sociedad

del Siglo XVI, siglo de oro del Renacimiento italiano, época de grandes avances en la navegación y el comercio; a su vez explica el nexo del auge comercial, transporte y navegación indispensable en los puertos comerciales más importantes como Venecia, Génova y en ciudades del florecimiento de las ciencias y artes como Florencia, Milán, Pisa y Roma.



Gráfica 11: Draga. Tomado: Op.Cit pp.156-157

- **Revolución Industrial**

A fines del siglo XVIII, con la aplicación de la energía hidráulica a los procedimientos industriales, surgieron las fábricas, llamadas hasta entonces molinos. En las fábricas se reúne en un espacio limitado a una gran cantidad de trabajadores, que hacen uso de diversas máquinas, cuyo número no cesa de crecer. El trabajo se fragmentó, y cada sector se hace cargo de una etapa distinta. El ritmo es ahora impuesto por las máquinas.

En términos de la organización de la producción, el trabajo en las fábricas representa un desarrollo, pues se hace más sencilla la recolección de la materia prima, se facilita la distribución de los productos terminados y se fomenta la especialización en los conocimientos.

- **Era Moderna**

El siglo XX vio la transformación de los viejos molinos usados en la época medieval en pequeñas centrales hidroeléctricas y luego el abandono, por no poder competir con la nueva tecnología y las grandes creaciones de hidroeléctricas de alcances monumentales, un ejemplo:

En China la gran obra de ingeniería hidráulica sobre el río YangTse-Kiang, se llama La de las Tres Gargantas (Qutang, Wuxja y Xiling). Hidroeléctricas que controlan el desbordamiento del río con una capacidad de energía equivalente al 11% de lo que consume China.

1.2 Municipio de Santa Cruz, La Laguna

1.2.1 Entorno Socio-Económico y Cultural

La población de Santa Cruz La Laguna es de 4,197 habitantes. Los datos históricos exponen que estuvo ocupado desde la época prehispánica (antes de 1492) por indígenas Cakchiqueles. Se presume que fue fundado en la década de 1540, cuando los misioneros franciscanos, en cumplimiento de una real cédula del mismo año, procedieron a formar reducciones o pueblos de indios. El nombre se deriva del nombre de la Imagen de la Patrona Santa Elena de la Cruz, y La Laguna, es por ubicarse en la orilla del lago de Atitlán.

En la Recordación Florida (1690), escrita por el célebre cronista Francisco Antonio De Fuentes y Guzmán, es mencionado el pueblo de Santa Cruz La Laguna, "con un número estimado de 1,200 habitantes". Hacia el año de 1650 los habitantes del municipio de San Marcos La Laguna tuvieron un litigio con los vecinos del municipio de Santa Cruz La Laguna, por la propiedad de las tierras de Tzununá, pero el tribunal falló a favor de Santa Cruz La Laguna. En 1690 volvieron los pobladores del municipio de San Marcos La Laguna a plantear otra demanda la que nuevamente fue ganada por Santa Cruz La Laguna.

Durante el período colonial, el municipio de Santa Cruz La Laguna, perteneció al corregimiento de Tecpán, Atitlán o Sololá, que por el año de 1730 se convirtió en la Alcaldía Mayor de Sololá. En 1872 se da una división territorial, apropiándose el departamento de Quiché de la

mayor parte del territorio de Sololá. Dentro de los pueblos que quedaron como parte de Sololá figuraba Santa Cruz La Laguna.

1.2.2 Geografía

El municipio de Santa Cruz La Laguna, se localiza en la parte central del departamento de Sololá, lat. Norte 14° 44' 34" y long. Oeste 91° 12' 25". Colinda al norte con los municipios de Santa Lucía Utatlán y San José Chacayá; al sur con el Lago de Atitlán; al este con la aldea San Jorge La Laguna del municipio de Sololá; y al oeste con el municipio de San Marcos La Laguna. La distancia de esta Cabecera Municipal a la Cabecera Departamental de Sololá es de 13.7 km, de los cuales 4.7 km son por vía lacustre.

Las partes altas se encuentran ubicadas al norte del Municipio, correspondiente a los caseríos Chaquijchoy, Chuitzanchaj y Pajomel. Las partes bajas corresponden a la Cabecera Municipal, aldea Tzununá y caserío Jaibalito, que se encuentran ubicados a orillas del Lago de Atitlán. El municipio de Santa Cruz La Laguna cuenta con una extensión territorial de 12 km², que representa el 1.13% del territorio del Departamento, ocupa el decimotercer lugar en tamaño junto a los municipios de Santa María Visitación, Santa Clara La Laguna, San Pablo La Laguna y San Marcos La Laguna, que tienen la misma extensión territorial.

Por estar localizado el Municipio en la parte del altiplano y rodeado de zonas montañosas pertenecientes a la cadena volcánica que atraviesa el país, con una altitud entre 1,665 y 2,520 msnm y una precipitación pluvial media entre 1,400 y 1,500 mm anuales propicia un clima frío y templado, con una temperatura media anual de 12 a 18 °C. Sin embargo en los meses de diciembre y enero, la temperatura disminuye y alcanza una mínima de hasta 5 °C. Éste Municipio es privilegiado, debido a que cuenta con un clima apropiado para el desarrollo de diversas actividades productivas. Así mismo presenta una velocidad del viento de 4.8 km/h y humedad relativa media del aire del 79%.

El terreno de Santa Cruz La Laguna bastante inclinado, compuesto por altos promontorios que separan la ribera entre sí. Éstos son especialmente altos al Este, debido a que se encuentran enclavados sobre la cordillera, por lo que presentan enormes montañas y profundos barrancos por donde corren los ríos que irrigan el Municipio y que se desbordan durante la época de lluvia e impiden que la comunicación terrestre sea accesible. Su relieve es variado ya que está formado por montañas, valles, planicies, terrazas, barrancos y abismos, lo que influye de manera negativa en la agricultura, por dificultarse el traslado de los insumos y las cosechas.

El municipio de Santa Cruz La Laguna se ubica en la parte central del departamento. Sobresalen entre sus principales elevaciones las puntas de Tzantzisotz y Tzansuj. El 82% del

paisaje fisiográfico es escarpado; 8% del territorio es tipo terraza y el 6 % es cerro. Solamente 1% y 3% son valles y altiplanicie, respectivamente. Permite verificar la cantidad de centros poblados, su variación al transcurrir de los años y conformación de la organización municipal. Se integra por pueblos, villas, aldeas, caseríos, parcelamientos, rancherías, cantones, parajes y fincas.

Los registros del INE según el X Censo Poblacional 1994, muestran que el Municipio posee una división política conformada por un pueblo, una aldea y seis caseríos. Esta división se presenta en el XI Censo Poblacional 2002, sin embargo de acuerdo con la investigación de campo realizada por el INE determinó que existe un pueblo, una aldea y cuatro caseríos. La topografía es escarpada, y por su ubicación es uno de los once pueblos de la ribera de la cuenca del Lago de Atitlán. Sus recursos económicos se centran en una pequeña producción agrícola de granos y frutales.

Las artesanías elaboradas por las mujeres, consisten en tejidos, de güipiles y faldas (cortes), muy bellas y originales, poco conocidas. El colorido es de fondo azul asociado al color del lago, y el diseño de los volcanes en el cuello de los güipiles de manera pareada, en donde un volcán refleja al otro en el agua, en tonos de verde y turquesa. La posición del pueblo a 1 km de la orilla del lago no ha sido atractiva para el turismo, por lo que no se incluye en las guías turísticas. La mayoría de jóvenes se emplean en los hoteles de los pueblos vecinos, como Santiago, San Pedro La Laguna y en Panajachel, que son totalmente turísticos. Entre otras ocupaciones están la de lancharo, guía de turistas y guardianes de las casas de descanso de los alrededores.

La municipalidad de Santa Cruz La Laguna se ubica en La Plaza Central de Santa Cruz La Laguna, es un edificio moderno, de tres niveles. El alcalde y su Consejo Municipal tienen especial interés en atraer turismo, mejorar sus instalaciones, crear un sistema de limpieza desde las calles hasta los sitios de interés cultural, y en particular la Comisión de Medio Ambiente, integrada por tres concejales, participan activamente en proyectos a futuro para la conservación de su entorno natural, en especial, en la conservación de los bosques y del recurso hídrico.

1.2.3 Sitio Xe Ka'on (entre dos cerros): Centro Ceremonial y Aspectos Culturales

El cerro Xe Ka'on es un sitio sagrado con un centro ceremonial en la cima del cerro. El nombre significa "entre dos cerros" con una altura de 1,675 m. La distancia al pueblo es de 4 km. El acceso más directo es desde San José Chacayá, que se ubica a 7 km de Sololá y a 9 km de Santa Cruz, entrando por las montañas.

El acceso es restringido, sólo a los lugareños, pertenecientes en su mayoría a la etnia Cakchiquel, se les permite llegar y en días de fiesta o ceremoniales, con el fin de preservar sus costumbres de ceremonias mayas. Los ritos y ceremonias lo hacen los sacerdotes mayas, no tienen fechas fijas solamente cuando hay necesidad de las personas: para agradecer la vida, la unión de la familia, el negocio, la cosecha y otros. La municipalidad ha declarado dichos lugares como altares mayas: Xe ka'on, Chirij ka'on, Chuipilas entre otros, ya que son lugares que cuentan con altares mayas por lo que constituyen sitios sagrados.

Esta condición favorece a la conservación de la flora y fauna del cerro, y directamente se relaciona con la preservación de los dos nacimientos de agua Chirij Ka'on (atrás del cerro), que se ubican en las faldas de Xe Ka'on.

1.2.4. Los Nacimientos Chirij Ka'on

El recurso hídrico de Santa Cruz La Laguna es abundante y debido a su topografía el abastecimiento de agua se logra por gravedad. Teniendo alto potencial en generación de energía hidráulica por los declives e inclinación de los cerros, que puede ser aprovechada para producción de energía limpia, como lo es la hidroenergía.

Los bosques han sido talados para aprovechamiento agrícola y obtención de la leña necesaria en cada hogar (ver Gráfica No.28, pág.87), dando como resultado problemas de tipo ambiental, como la erosión, que provoca deslaves; existiendo peligro de deslizamientos, aumento de contaminación, tanto en el aire, como en las cuencas de algunos ríos; pérdida de hábitat para especies migratorias, peligro para la fauna local y pérdida de la flora; la cual es importante, ya que se encuentra en ella plantas medicinales utilizadas por la población, entre ellas la manzanilla, rosa de jamaica, ruda, etcétera.

La observación del sitio Xe Ka'on llevó al hallazgo de los dos nacimientos denominados Chirij Ka'on 1 y Chirij Ka'on 2. Al fondo del cerro del mismo nombre, que significa: atrás del cerro.

El proceso de análisis de los dos nacimientos Chirij Ka'on dio como resultado que: las aguas están sin contaminación (ver Anexo No. 3, Resultados de Análisis de Aguas pp. 96-102). El uso del recurso agua que provee la Municipalidad de Santa Cruz, La Laguna es de muy buena calidad y sólo se recomienda clorarla según recomendaciones dadas en los Resultados de Análisis de Aguas. Las condiciones favorables del agua hacen propicio el uso de la energía hidráulica para poder aprovecharla al servicio de la iluminación de la Plaza Central del Santa Cruz, para iluminar el Palacio Municipal o cualquier otra instalación municipal, con lo cual se ahorrará una factura en energía eléctrica mensual por un monto de Q.1,000.00 (dato proporcionado por la OMP).

Los servicios de iluminación pueden contribuir al desarrollo del turismo, a transitar con seguridad por el pueblo y a mejorar aspectos económicos, sociales y ambientales. La población local se estaría beneficiando con servicios públicos más modernos, más atractivos y más seguros. Se crea conciencia ambiental en la población del uso de la energía limpia, con el conocimiento de la importancia de la conservación de los bosques y las ventajas que conlleva la preservación del recurso hídrico.

1.2.5. Conciencia Ambiental y el Uso Racional de los Recursos Naturales

El impacto que el hombre en sociedad causa, por el uso de los recursos naturales, en el medio ambiente, resulta del uso inadecuado de los mismos, del crecimiento poblacional y del crecimiento de la frontera agrícola; en consecuencia los efectos antropogénicos van en detrimento de los recursos naturales renovables e incide directamente en la obtención del agua, que es esencial para la vida del ser humano y de todos los seres vivos, ya que aumenta la contaminación del medio ambiente con las emisiones de CO₂ con los desechos sólidos y por los productos químicos que se utilizan en la agricultura.

En Santa Cruz, La Laguna se ve afectada la sustentabilidad de los recursos, la salud de la población, el medio ambiente y deterioro del agua; tales efectos antrópicos inciden en el desarrollo económico y social de una manera negativa.

En tanto que la población no esté consciente de la importancia de los recursos naturales y el impacto negativo que causa su mal uso y la degradación en el medio ambiente por la utilización diaria; se verá afectado el futuro de su vida, de su comunidad y de las nuevas generaciones; por lo que se hace necesaria una conciencia ambiental que puede ser implementada como parte de la formación de valores en la educación del niño tanto en la escuela, como en el hogar y en la comunidad, así como en las Instituciones municipales, departamentales y nacionales, Públicas y Privadas. Se puede llevar a cabo una campaña de Educación Ambiental y de clasificación de los desechos sólidos, desde las escuelas y con la participación de los Consejos Comunitarios de Desarrollo COCODES. En tal sentido, se formuló una Campaña de este tipo y se entregó a las Autoridades, para que la implementen con estrategias de alianzas interinstitucionales, como la iniciada con Cementos Progreso, para cuando lo consideren conveniente.

1.2.6. Recursos Naturales y Beneficios Socio Ambientales

Xe Ka'on con las posibilidades de un área de reserva municipal, puede permitir la sustentabilidad de los recursos forestales, flora y la fauna existente, la preservación de los nacimientos de agua y del medio ambiente, en general, repercute a toda la cuenca del Lago de

Atitlán, por lo que debe ser tomado en cuenta el Plan de desarrollo sostenible de la reserva de uso múltiple CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN, Y EL DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ 2006-2010. Las autoridades municipales tienen instrumentos para formular un tipo de política como modelo, que podría ser efectiva para las Municipalidades de los otros poblados que tienen las mismas necesidades.

Si la Municipalidad obtiene la declaración del sitio como área de reserva “Artículo 64. Se declara de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación. El Estado fomentará la creación de parques nacionales, reservas y refugios naturales los cuales son inalienables. Una Ley garantizará su protección y la flora y fauna que en ella exista.”, se garantiza el desarrollo económico y social de Santa Cruz La Laguna y su medio ambiente, preservación de sus recursos naturales, en particular, el agua de sus ríos y del Lago de Atitlán. Puede ser tomado como fundamento de la sustentabilidad el Artículo 97, que dice: “Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna de la flora. De la tierra y el agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.” (Constitución Política de La República De Guatemala, 1985).

Como efecto colateral socio-ambiental está el desarrollo del ecoturismo y el turismo cultural, que provee otra fuente de ingresos para la comunidad de Santa Cruz La Laguna. Según el Perfil Temático de la Biodiversidad (PNUD-GUA 05001-42830, 2007) el Artículo 6. “Desarrollar estrategias, planes o programas nacionales, o adaptar los planes existentes con el fin de respetar las disposiciones de la Convención.”, que abarca la Industria del turismo nacional y beneficia el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), aporta la sustentación legal a las políticas que podrían ser adoptadas por esta Municipalidad y todas en general.

En el Artículo 8 se visualiza la importancia de la sustentabilidad de los recursos naturales, cuando dice lo siguiente:

“Promover desarrollo ambientalmente adecuado y sostenible en zonas adyacentes a las áreas protegidas. La iniciativa regional del Corredor Biológico Mesoamericano, CBM, tiene como objetivo principal manejar y desarrollar lo sostenible en áreas adyacentes a las áreas protegidas. En el año 2005, finaliza el carácter de proyecto que tuvo el CBM desde su momento de constitución y queda institucionalizado como una Unidad dentro del MARN.

En la Declaración de la XIX cumbre de Presidentes Centroamericanos, Panamá, 1997 (Urquijo, 2006) el CBM fue definido como:

“...un sistema de ordenamiento territorial, compuesto por la interconexión del Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas, con zonas aledañas de amortiguamiento y uso múltiple, que brinda un conjunto de bienes y servicios ambientales a la sociedad centroamericana y mundial, y promueve la inversión en la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales; todo a través de una amplia concentración social, con el fin de contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región”.

La iniciativa CBM constituye una visión Mesoamericana para el desarrollo de los 8 países que la integran y se expresan en tres dimensiones: a) Institucional, con una red abierta de entidades públicas y privadas que trabajan a nivel regional, nacional o local, poniendo en práctica, políticas e instrumentos de gestión armonizados, y coordinando acciones para la gestión de la biodiversidad, b) Territorial, en el mantenimiento de la diversidad de paisajes manejados en beneficio del desarrollo sostenible de los países, enfrentando las causas de la fragmentación y pérdida de la biodiversidad, y c) Social y económica, en la que todos los actores participan a diferentes niveles en la toma de decisiones sobre su desarrollo y aplican modelos de producción y servicios ambientalmente amigables” (Urquijo 2006). Informe de la Biodiversidad, Op. Cit .Pp.42.

1.3 Sistema de Distribución de Agua Potable de Santa Cruz, La Laguna – Pa Tinamit Wa

1.3.1 Características del Sistema de Distribución

Las instalaciones tienen una tubería de PVC de 2.5”, desciende más de 70 metros y con un caudal entre 1 a 1.5 litros por segundo dando la posibilidad de aprovechar una potencia de 500 W.

Las características escarpadas de su topografía, el agua, nacimientos, fuentes y ríos, poseen saltos y caídas desde una altura de más de 100 m, favorables al aprovechamiento del caudal hídrico para la generación de Micro-energía.

El sistema de abastecimiento en todo su trayecto tiene 5 cajas rompe-presión y 2 tanques de distribución. El agua potable llega al pueblo a un segundo tanque de distribución que se ubica a 300 m de la plaza central. Debido al uso de las cajas rompe-presión se pudo establecer que se desperdicia la energía hidráulica.

El tanque de agua almacena: 29.80 m³ para después distribuir entre los sectores de la cabecera municipal.

1. La distancia desde el nacimiento Xeka'on hasta el tanque de distribución es: de aproximadamente 0.5 kilómetros.

2. La distancia desde el nacimiento de agua Chaquijchay hasta el tanque de distribución es: aproximadamente 0.8 kilómetros.
3. La distancia desde el nacimiento de agua de Pasiwan Patin hasta el tanque de distribución es: aproximadamente 0.7 kilómetros.

Cálculos preliminares permiten prever un potencial de al menos 1 kW-h diarios los cuales pueden ser destinados para por ejemplo alimentar 13 lámparas de 15 W por 5 horas, o accionar sistemas de clorinación de agua, un faro, activar una fuente decorativa, iluminación de la Plaza Central, el atrio de la Iglesia u otro, que las autoridades decidan a conveniencia de los vecinos de Santa Cruz La Laguna.

Pa Tinamit Wa, Santa Cruz, La Laguna, es un municipio con características especiales, debido al interés que se observa, recientemente, en realizar cambios tendientes a conservar su medio ambiente y porque las autoridades municipales quieren implementar estrategias y políticas favorables a la preservación de su riqueza natural, con la realización de proyectos que rescaten el lago de Atitlán, con medidas de protección de los recursos naturales, de una mejor calidad de vida y principalmente del recurso hídrico, de la biodiversidad, de la salud de la población y para coadyuvar al desarrollo económico y social.

1.3.2 Cajas Rompe-presión del sistema de Distribución de Agua Potable

Una caja rompe-presión, como su nombre lo indica es para llevar la presión de una tubería de conducción de agua, que trabaja a sección llena, a cero (metros columna de agua, psi, kg/cm², pascales, etcétera) o sea que la tubería constantemente está siendo sometida por el agua a presión hidrostática. La condición más crítica es cuando no se está usando el caudal, porque toda la presión del agua está forzando la tubería en los puntos más bajos. Es como si una pieza fuera sometida a carga, constantemente por largos períodos de tiempo.

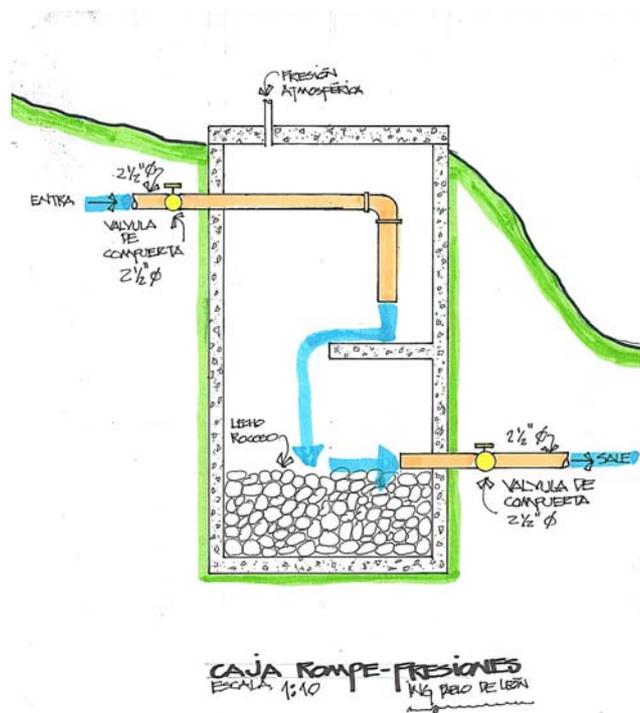
Para ubicar las cajas rompe-presión, hay que tomar en cuenta las características de la tubería que conduce el agua, por ejemplo en el mercado existen tuberías que tienen una carga de trabajo de 160 psi, 250 psi y 315 psi. Esto implica que en función de la presión de trabajo que soporta la tubería y bajo el criterio de que 1 m columna de agua es igual a 1.42 psi, para los valores de presión anteriores, los pozos rompe presiones se ubicarán a las siguientes alturas:

1. Para una presión de 160 psi la altura es de 112.68 m
2. Para una presión de 250 psi la altura es de 172.06 m
3. Para una presión de 315 psi la altura es de 221.83 m

Los datos de altura se obtienen de dividir la presión en la tubería por 1.42 psi. Un factor de seguridad de diseño igual a 2, entonces estos valores deben dividirse dentro de dos. Las nuevas alturas son:

1. Para una presión de 160 psi la altura es de 56.34 m
2. Para una presión de 250 psi la altura es de 86.03 m
3. Para una presión de 315 psi la altura es de 110.92 m

En síntesis las cámaras rompe-presión no son más que: estructuras de concreto armado para romper la presión hasta el punto de su ubicación e iniciar un nuevo nivel estático. Debe tener entrada y salida del agua, tubería de aireación y tapa de control.



Gráfica 12: Caja Rompe-Presión. Realizada por Ing. Pablo De León

CAPÍTULO 2

2. Determinación del Potencial Hidroenergético del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

2.1 Los Nacimientos Chirij Ka'on

El sistema que surte de agua potable al municipio de Santa Cruz La Laguna es un sistema de captaciones y tubería de agua cuyos caudales son unificados en los tanques de distribución ubicados al norte del pueblo dentro del casco urbano. Una vista aproximada puede verse en la Gráfica satelital No.13 (y en Anexo No. 3, Foto No. 37, pág. 92.)

Son cuatro las fuentes de agua que alimentan a la población: Chirij Ka' on No. 1, Chirij Ka'on No. 2, Chakij Choy (Laguna Seca) y el nacimiento Pasiwán Patín (Más allá del barranco). Para este estudio se hará énfasis en el potencial hidroenergético de los dos primeros nacimientos, aunque más adelante se hacen consideraciones energéticas de los otros dos nacimientos.

2.2 Análisis de la Calidad del Agua Chirij Ka'on

La toma de muestras en los nacimientos Chirij Ka'on No. 1 y No. 2 se llevó a cabo con la inducción del Laboratorio de la Facultad de Farmacia y de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos. Se recibió el acompañamiento para llegar hasta los nacimientos, donde se descendieron 1,670 metros, de la Comisión de Medio Ambiente de la Municipalidad de Santa Cruz y otros miembros del COCODES, quienes facilitaron el acceso al lugar, que presenta alto grado de dificultad y por la ubicación, no todos, menos ajenos a la comunidad, pueden llegar.

Se realizó el primer muestreo, con recipientes estériles, aproximadamente a las 11:00 horas y el 2º a las 11:20 horas, en el nacimiento No. 2 que dista 100 metros del No. 1; se llevó hielera y se conservaron a 0 grados, las muestras. Luego se llevaron a cabo las mediciones necesarias con GPS para establecer las coordenadas, la latitud y altitud exacta de los nacimientos, para su correcta ubicación. Se realizó la observación directa in situ y se establecieron todas las características del sistema de distribución de agua desde los nacimientos para luego en el trayecto hacia el pueblo, ir verificando los lugares de los dos tanques de distribución, tubería, las cajas rompe-presión y el sistema de clorinación del agua.

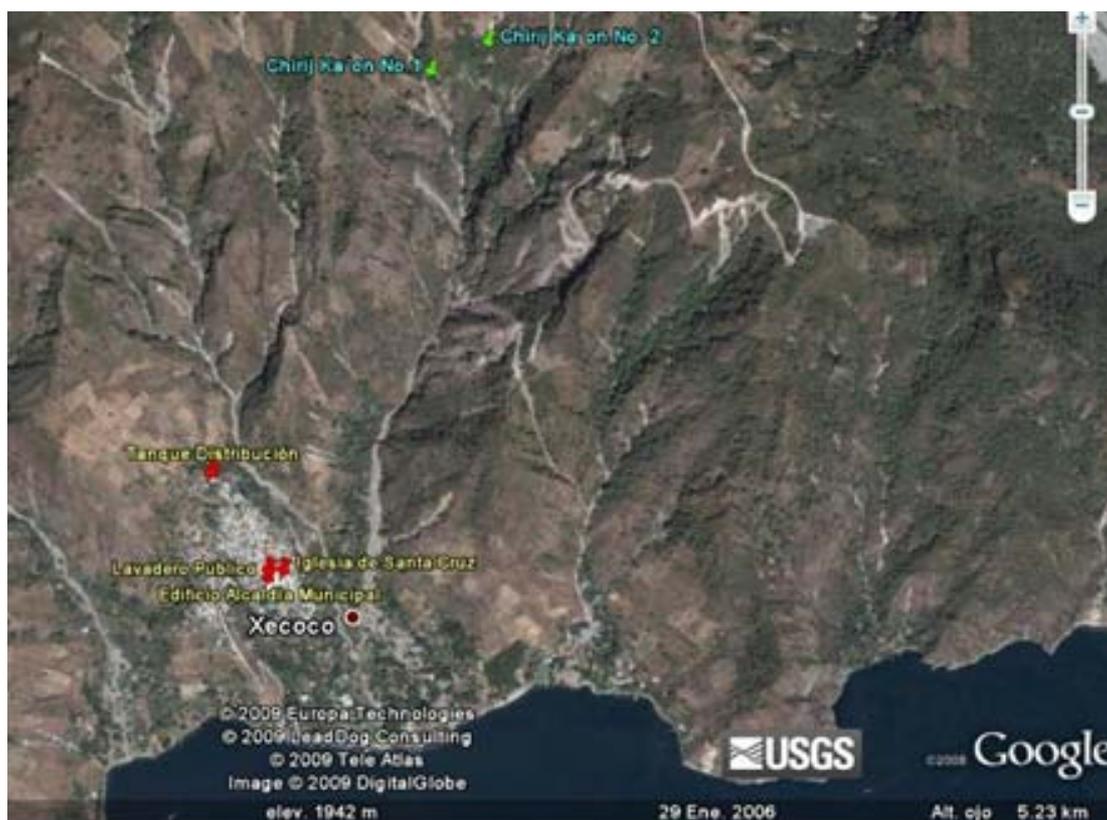
Los ensayos fueron realizados en la Facultad de Ingeniería en el Laboratorio de Microbiología Sanitaria y Química, en donde se obtuvieron los resultados de la potabilidad del agua de Santa Cruz La Laguna (Ver Resultados de Análisis de Aguas, pp.96-102) como un aporte financiero y de apoyo logístico a la investigación.

2.3 Medición de Parámetros Hidroenergéticos

En visita realizada al sitio de los nacimientos Chirij Ka'on 1 y 2, que se les ubica en las coordenadas geográficas siguientes:

Chirij Ka'on No.1
Latitud: N 14° 45' 16.2"
Longitud: W 91°12' 11.08"
Altitud: 2,064 msnm

Chirij Ka'on No. 2
Latitud: N 14° 45' 18.24"
Longitud: W 91°12' 06.6"
Altitud: 2,071 msnm



Gráfica 13: Muestra la ubicación de los nacimientos Chirij Kaón No. 1 y No.2, tanques de distribución e instalaciones municipales. El desnivel que hay hacia el tanque de distribución es de 320 metros. Foto satelital Google Earth.

2.4 Potencial Hidroenergético Estimado

El 11 de enero del 2009, se realizó una visita técnica a los nacimientos de agua con el propósito de hacer las mediciones de caudal, determinar la ubicación geográfica de los nacimientos y toma de muestras de agua para análisis bacteriológico. Participaron en esta visita el ingeniero Erick González, asesor de este trabajo, la Ingeniera Química Telma Cano, el señor Carlos Hernández de la Oficina Municipal de Planificación, Juan Hernández de la comisión de medio ambiente de la municipalidad de Santa Cruz La Laguna y la autora de esta investigación.

Lo primero que se hizo fue la toma de muestras de agua siguiendo las recomendaciones dadas por el Licenciado Samayoa del laboratorio de Química del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos y en los recipientes proporcionados por dicha entidad y por la Facultad de Farmacia. En total fueron 8 muestras que se colocaron inmediatamente en hielo.

Para la medición de caudales, afortunadamente los nacimientos tienen cajas de captación con válvulas y tubos de drenaje justos para utilizar el método volumétrico de medición de caudales y para ello fue suficiente cerrar la válvula de abastecimiento hacia el municipio de Santa Cruz La Laguna, esperar unos minutos para que el agua saliera por el drenaje de sobrecarga y en este tubo colocar por debajo la cubeta de "5 galones" que mediría el volumen de agua midiendo el tiempo de llenado con un cronómetro marca Casio. Ver gráficas 15 y 16 (pp. 46-47.)

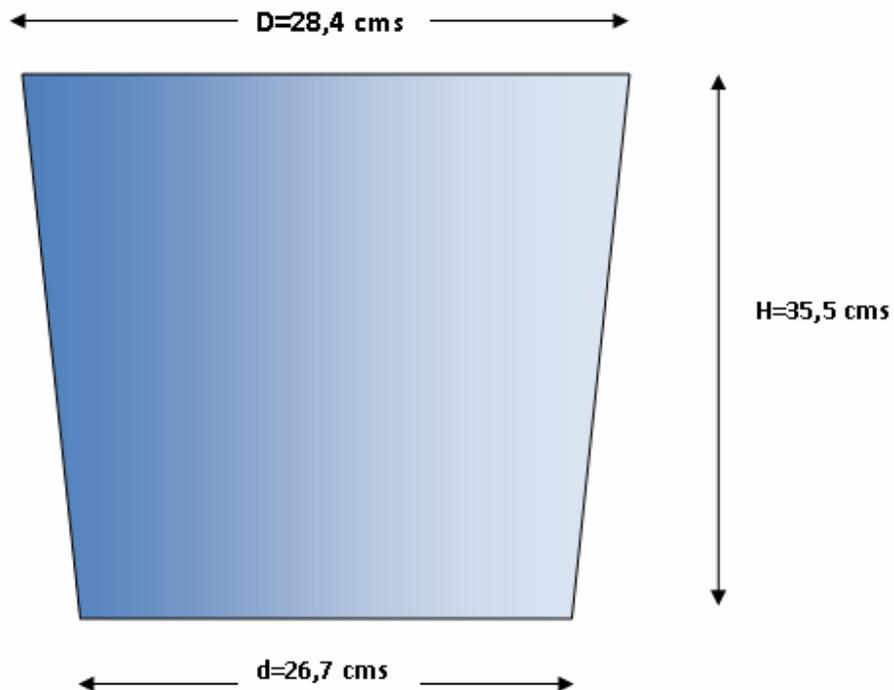
Las dimensiones de la cubeta se muestran en gráfica 14 (pág.45), que permiten establecer un volumen de 19,876 centímetros o sea 19.879 litros. Por lo tanto utilizando los tiempos promedio de cada nacimiento dados en la tabla anterior, nos da que el caudal para cada nacimiento es de:

- Nacimiento Chirij Ka'ón No. 1: $19.876 \text{ litros}/20,46 \text{ s} = 0.9714 \text{ litros /s}$
- Nacimiento Chirij Ka'ón No. 2: $19.876 \text{ litros}/41,45 \text{ s} = 0.4795 \text{ litros /s}$

Dando un total para los dos nacimientos de 1.4509 litros/ s

Tabla 1: Nacimientos Chirij Ka'ón: Tiempos de llenado de la cubeta de 5 galones (segundos)		
Número de medición	No. 1	No.2
1	20,08	41,77
2	20,38	40,91
3	19,96	40,89
4	20,78	42,37
5	20,57	41,33
6	20,43	n/d
7	20,99	n/d
SUMA DE TIEMPOS	143,19	207,27
PROMEDIO	20,46	41,45

Fuente: Mediciones realizadas el 11 de enero del 2009



Gráfica 14: Dimensiones de cubeta de forma cono truncado utilizada en mediciones de caudal.

Fuente: La autora.



Gráfica 15: Milagro Fajardo acompañada de personal de la municipalidad de Santa Cruz La Laguna, en el momento de medir caudal. Se puede apreciar la cubeta utilizada en el tubo de descarga de la caja de captación en nacimiento Chirij Ka´on No. 1. Foto: Erick González



Gráfica 16: Milagro Fajardo acompañada por el personal de la municipalidad de Santa Cruz La Laguna en el sitio del nacimiento Chirij Ka'on No. 1. Foto: Erick González

Tomando en cuenta que el caudal del nacimiento Chirij K'aon No. 2 se une al caudal del nacimiento Chirij K'aon No.1 en el punto de ubicación de este último, que hay un desnivel de 320 metros de este punto hasta el tanque de distribución, con un caudal promedio de 1.4509 litros/segundo, el potencial bruto que ofrecen los nacimientos Chirij k'aon es:

$$\text{Potencia bruta } P \text{ (W)} = 5 \cdot (1.4509 \text{ lt/s}) \cdot (320 \text{ metros}) = 2,321.44 \text{ W}$$

Esta expresión práctica es la recomendada por la NRECA para potencias de micro y pico centrales hidroeléctricas en la cual el factor 5 absorbe las eficiencias del equipo turbogenerador y las pérdidas en tubería y accesorios.

Aquí se aprecia ya el potencial hidroeléctrico que de no existir las cajas rompe-presión se podría obtener. Para dar una mejor idea, esa potencia de 2,321.44 W equivale a la potencia para alimentar 23.21 focos incandescentes de 100 W o 46.42 focos de 50 W o un motor eléctrico de 3 HP (caballos de fuerza), o 3 motores de 1 HP para 3 lavadoras de ropa de 14 libras.

Una cosa es esa potencia de 2,321.44 W que de operar 24 horas nos daría una energía eléctrica de:

$$\text{Energía (W-hora)} = \text{Potencia} * \text{tiempo} = 2,321.44 \text{ W} * 24 \text{ horas} = 55,714.56 \text{ W-hora}$$

Es decir que si se quisiera aprovechar al máximo el potencial hidroenergético de esos nacimientos tendríamos 55,714.56 W-h o sea 55.71 kW-hora, suficiente para casi 56 casas urbanas que consumieran 1 kW-H.

Sin hacernos más ilusiones, esa energía 55,714.56 W-hora y esa potencia de 2,321.44 W sería posible si se cambiase toda la tubería por una de mayor resistencia y eliminando totalmente las 5 cajas rompe-presión que actualmente tiene el sistema de abastecimiento de agua debido a esos nacimientos. Hacer esto implica un gasto mayor y con el riesgo de dejar por un par de días a la población sin agua. Esto último podría crear serios problemas entre los habitantes del municipio y los promotores de este proyecto bajo el supuesto de llevarse a cabo: Entonces hubo necesidad de buscar otra alternativa menos complicada que consistió en medir directamente la presión del agua de los nacimientos Chirij Ka'on que llega al tanque de distribución (Ver gráfica No.13) resultando en una presión de 32 psi (libras por pulgada cuadrada) equivalente a casi 22 metros de columna de agua. Con este nuevo dato la potencia que existe en este punto es de:

$$\text{Potencia en tanque de distribución por agua de Chirij Ka'on (Ptd}_{ch}) = 5 * Q * H$$

Donde Q es el caudal en metros cúbicos por segundo medido en los nacimientos de 1.476 litros por segundo y H la altura de la columna de agua en metros de 22 metros.

Por lo tanto, la potencia en el tanque de distribución debido al agua de Chirij Ka'on es:

$$Ptd_{ch} = 5 * Q * H = 5 * (1.476 \text{ litros/s}) * (22 \text{ metros}) = 162.36 \text{ W}$$

Según información dada por autoridades de la municipalidad, ese caudal es permanente las 24 horas por lo tanto es previsible obtener una energía de:

Energía producida en tanque de distribución por el agua de Chirij Ka'on en un día será de:

$$Etd_{ch} = Ptd_{ch} * 24 \text{ horas} = 162.36 \text{ W} * 24 \text{ horas} = 3,896.6 \text{ W-h}$$

Tabla 2. Energía previsible a ser producida

Sitio	Presión		Caudal		Potencia			Potencia según tiempo de flujo de agua (W-horas)							
	psi	m.c.d.a.	L/s	m ³ /s	kW	W	HP	Horas							
								10	12	14	16	18	20	22	24
Chirij ka'on	32	22,00	1,5	0,002	0,1650	165,0	0,22	1650	1980	2310	2640	2970	3300	3630	3960

Por lo tanto la energía que es posible obtener con el agua que proviene de los nacimientos de Chirij Ka'on es de 3,960 W-hora al día. Esto sobrepasa lo previsto en la hipótesis de este trabajo.

A un segundo tanque de distribución llega el agua de los nacimientos de Chakij Choy (Laguna Seca) y el nacimiento Pasiwán Patín (Más allá del barranco), tienen un caudal combinado de 2 litros por segundo y en ese tanque se tiene una presión estática de 20 psi equivalente a 13.67 metros de columna de agua con lo cual se obtendrían una potencia y una energía de:

$$P_{p_{td}} = 5 * (2 \text{ litros/s}) * (13.67 \text{ metros}) = 136.7 \text{ W}$$

Y la energía será asumiendo 10 horas de uso debido a que el caudal es manualmente ajustado según se necesite mayor o menor agua de acuerdo a las necesidades del municipio. Este ajuste lo hace un fontanero a cargo de mantenimiento y control del caudal.

$$E_{p_{td}} = \text{Potencia} * \text{tiempo} = 136.7 \text{ W} * 10 \text{ horas} = 1,367 \text{ W-hora}$$

Este potencial energético puede aprovecharse una vez que se haga un nuevo arreglo de las tuberías y se le modifique de manera que no afecte el sistema de clorinación por pastilla que tiene en un ramal de agua que reúne a los dos caudales.

En resumen los nacimientos pueden brindar las siguientes potencias y energías:

Tabla 3: Potencial hidroenergético de sistemas de abastecimiento de agua en Santa Cruz La Laguna				
Nacimientos	Caudal litro/s	Horas de uso	Potencia W	Energía W-h
Nacimientos Chirij Ka'on No. 1 y No. 2	1.476	24	165	3960
Chakij Choy (Laguna Seca) y el nacimiento Pasiwán Patín (Más allá del barranco)	2.0	10	136.7	1367

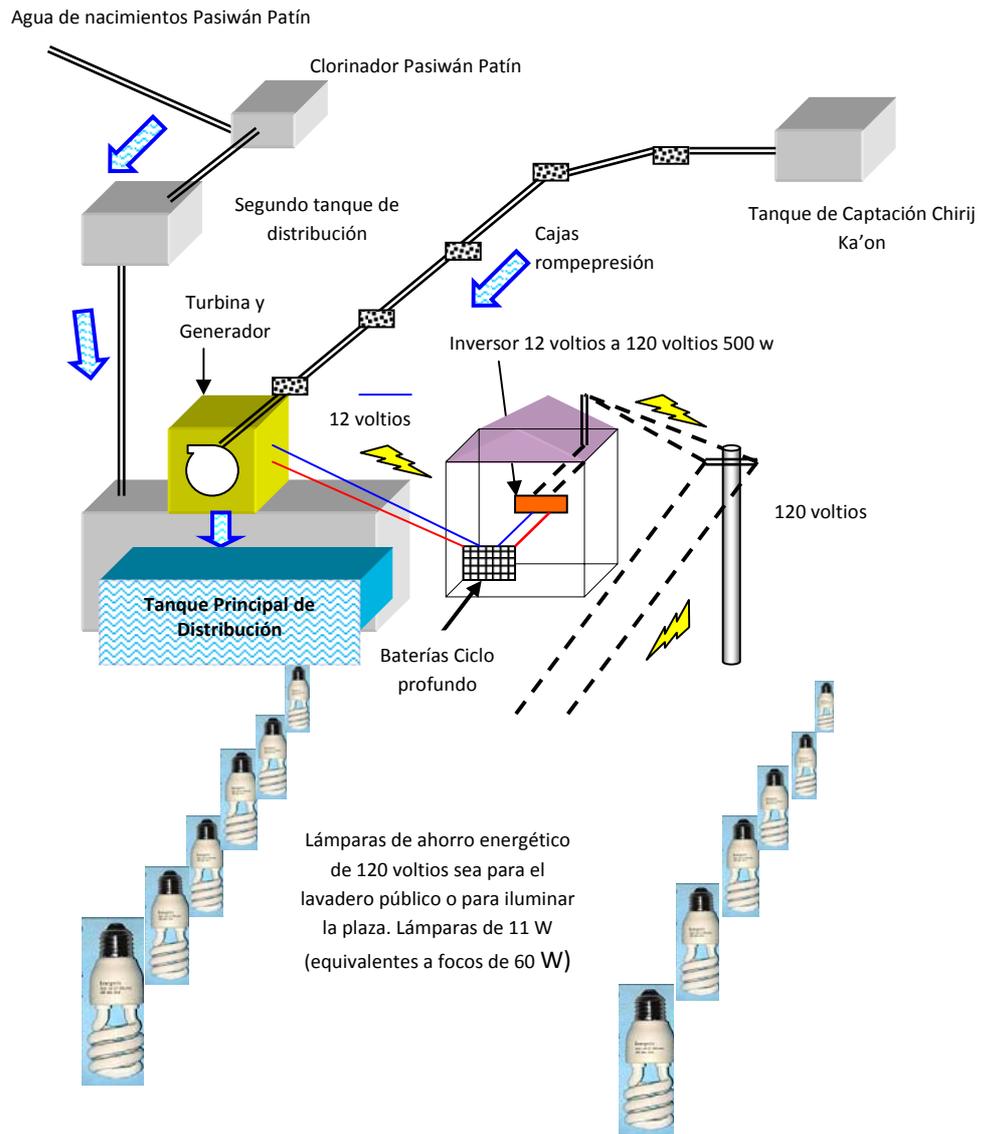
Los datos resaltados en la tabla anterior son los que servirán para las propuestas de sistemas de aprovechamiento.

CAPÍTULO 3

3.1 Propuesta de proyectos de Iluminación Comunitaria de Santa Cruz, La Laguna

3.1.1 Equipo Electro-generador y Banco de Baterías

Con base a la cantidad de energía que se puede generar con el agua potable que llega directamente al tanque de distribución principal la idea básica del sistema que se pretende esquemáticamente se muestra en la gráfica 17.

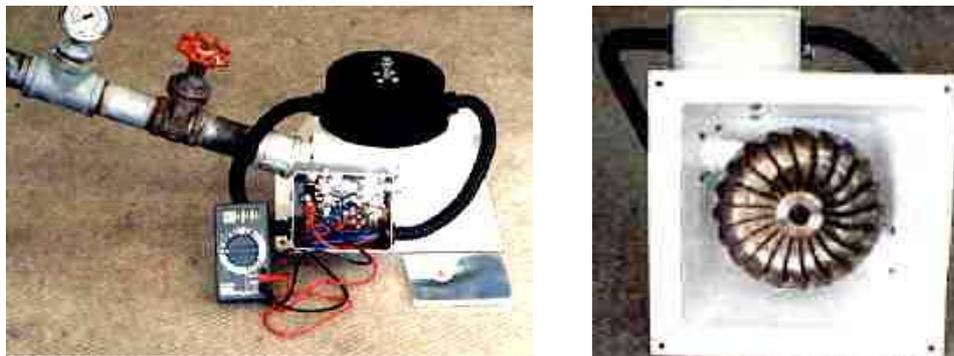


Gráfica 17: Esquema básico de las propuestas de aplicación de la hidroelectricidad proveniente de los nacimientos Chirij Ka'on del

3.1.1.1 El equipo turbogenerador

Como se determinó en el capítulo II, la potencia que se puede generar con la energía que se puede producir con el agua que proviene de los nacimientos Chirij Ka'on es de 162.36 W. El equipo electrogenerador se compone de una turbina y su carcasa acoplada a un generador eléctrico. La naturaleza de la turbina debe ser del tipo de impulso en este caso bien sea Pelton o bien sea Turgo. Según documentos consultados pueden ser de material plástico resistente para la Pelton o de bronce para la Turgo. Tiene que elegirse una turbina de este tipo (de impulso) para soportar variaciones de revoluciones pues característica de estas turbinas es poder reducirse el caudal hasta más del 75% sin provocar cambios significativos en la eficiencia. El caudal está en función directa a las revoluciones de giro. La Gráfica 17 muestra un equipo electrogenerador completo y una rueda tipo Turgo,

En cuanto al generador es suficiente acoplar la turbina directamente a un alternador tipo automotriz cuyas potencias sobrepasan los 350 W y hasta se les consigue en 1,200 W en todo caso 12 Voltios en corriente directa. Se aprovecha aquellos alternadores que tienen regulador de voltaje incorporado. Además se tiene la ventaja de generar en corriente directa lo cual evita tener que instalar un regulador de revoluciones que se requiere en generadores de corriente alterna para controlar la frecuencia eléctrica.



Gráfica: 18 A la izquierda un equipo electrogenerador completo y a la derecha una turbina turgo de bronce. Fuente: [www. Microhydropower.com](http://www.Microhydropower.com)

3.1.1.2 Banco de Baterías

Como la opción es generar electricidad con energía de corriente directa y en 12 voltios, tomando en cuenta que el uso de la energía que se propone sea para iluminación, y ésta es necesaria sólo en horas de la noche, deja sin uso la energía que se produce en horas del día y obliga a pensar en almacenar dicha energía en baterías. Estas baterías deben ser del tipo “Descarga Profunda” o “Ciclo Profundo” y cuyo número se le calcula en función de un porcentaje de descarga diaria respecto a la capacidad de las baterías y en función de cuántos días de autonomía se espera opere el alumbrado cuando haya necesidad de suspender la generación por cuestiones de fallas o de mantenimiento. Para este caso se asumirá que la descarga será de un 25% de la capacidad de las baterías. Y de acuerdo a tabla III.1 en la cual se elegirán los siguientes números de lámparas de 11 W para mayor cobertura según se trate para iluminar el lavadero público o la plaza central del municipio:

- Para la propuesta No.1 ILUMINACIÓN DEL LAVADERO: 12 lámparas de 11 W para 5 horas de uso lo cual hacen 660 W-hora de consumo en un día. Este consumo significará entonces el 25% de la capacidad de las baterías es decir que éstas deberán tener $660 \text{ W-h} \times 4 = 2,640 \text{ W-h}$ de capacidad de almacenaje. Si se usan baterías de 105 Amperios-hora de 12 voltios cada una puede almacenar $105 \times 12 \text{ voltios} = 1,260 \text{ W-hora}$. Por lo tanto se necesitarán:

Número de Baterías Propuesta 1: $N1 = 2,640 \text{ W-h} / 1,260 \text{ W-h} = 1.95$ Baterías prácticamente 2 baterías.

- Para la propuesta No. 2 ILUMINACIÓN DE LA PLAZA CENTRAL DEL MUNICIPIO: 5 lámparas de 11 W para 12 horas de uso para que permanezca con iluminación mínima toda la noche. Esto consumirá 1,584 W-hora. Si esto es 25% de la capacidad del banco de baterías, se requiere que éste tenga una capacidad total de $1,584 \text{ W-h} \times 4 = 6,336 \text{ W-h}$. Con baterías de 12 Voltios y 105 Amperios hora y con capacidad de 1,260 W-h, El número de baterías será:

Número de baterías Propuesta No. 2: $N2 = 6,336 \text{ W-h} / 1,260 \text{ W-h} = 5.02$ Baterías

Tabla 4. Tabla de consumos de acuerdo a potencia de lámparas y horas de uso

Potencia Lámparas en W	Número lámparas	horas de uso	energía W-hora según horas de uso
11	12	5	660
11	5	12	660
11	7	6	462
11	8	6	528
11	9	6	594
11	10	6	660
11	11	6	726
11	13	5	715
13	2	12	312
13	3	12	468
13	4	12	624
13	5	6	390
13	6	6	468
13	7	6	546
13	8	6	624
13	9	6	702
13	10	5	650
15	2	12	360
15	3	12	540
15	4	12	720
15	5	6	450
15	6	6	540
15	7	6	630
15	8	6	720
15	9	5	675
15	10	5	750
20	1	6	120
20	2	6	240
20	3	6	360
20	4	6	480
20	5	6	600
20	6	6	720
20	7	5	700
20	8	5	800
20	9	4	720

3.2 Proyecto de Iluminación del Lavadero Público de Santa Cruz, La Laguna

El proyecto de iluminar el lavadero público ubicado a inmediaciones de la plaza central de Santa Cruz La Laguna tiene por objetivo contribuir a mejorar las condiciones de luz cuando sea de noche facilitando las labores de lavado de ropa y/o agregar una fuente decorativa.

Estará compuesto de 12 lámparas de 11 W de 120 Voltios de corriente alterna que estarán encendidas bien sea de 17 a 22 horas o de 18 a 23 horas, en todo caso 5 horas diarias de uso. En caso de reparaciones de la planta se dispondrá de 2 baterías de ciclo profundo de 12 voltios en corriente directa y 105 amperios-hora, de las cuales por medio de un inversor de 200 W se elevará el voltaje a 120 lo cual podrán suplir de energía durante cuatro días.

PRESUPUESTO ALTERNATIVA No. 1: ILUMINACIÓN LAVADERO PÚBLICO					
No	PRESUPUESTO	Unidad	Cant.	Costo Unidad	Valor Total
1	Batería ciclo profundo "Deka solar" 105 Ah 12 voltios	unidad	2	890.00	1,780.00
2	Terminales para baterías	juego	2	11.00	22.00
3	I-P-12 Equipo turbogenerador 12/24 V.D.C. 400 W rueda Pelton plástica	unidad	1	14500.00	14,500.00
EQUIPO ELECTROGENERADOR					16,302.00
4	Adaptador campana de hierro galvanizado 1 y ½	adaptador	1	12.00	12.00
5	1 Niple de 2 " x 12 hg	niple	1	19.00	19.00
6	1 Válvula de bronce de globo de 1 y ½"	válvula	1	380.00	380.00
7	3 rollos de teflón	rollo	3	3.00	9.00
8	1 Codo de hierro galvanizado 1 y ½ "	codo	1	19.99	19.99
9	1 Unión universal de hierro galvanizado 1 y ½ "	unión	1	12.00	12.00
10	Te de HG de 1 1/2"	unidad	2	45.00	90.00
11	Reducidor campana de hierro galvanizado 1 y ½ a ½"	unidad	1	10.45	10.45
12	Reducidor campana de hierro galvanizado ½ a ¼"	unidad	1	7.80	7.80
13	Válvula de globo o compuerta o esfera de ¼"	unidad	1	45.00	45.00
14	Niples de 1/4" de HG	Unidad	4	3.75	15.00
MATERIALES HIDRÁULICOS					620.24
15	1 Llave Steelson o inglesa de 30 "	Unidad	2	299.90	599.80
16	1 Voltímetro	Unidad	1	200.00	200.00
17	1 Amperímetro	Unidad	1	200.00	200.00
18	1 Segueta	Unidad	1	42.00	42.00
19	1 Sierra	Unidad	1	30.00	30.00
20	Alicates de electricista	Unidad	2	35.00	70.00
21	Juego destornilladores	Juego	1	60.00	60.00
HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS					1,201.80

21	Montaje de equipo hidroeléctrico	m.o.c.	1	3,500.00	3,500.00
22	Caseta de distribución eléctrica	m.o.n.c	1	5,000.00	5,000.00
23	Viáticos ingeniero supervisor	Día	10	250.00	2,500.00
24	Viáticos asistente ingeniero	Día	15	175.00	2,625.00
25	combustible para 6 visitas a razón de 140 kilómetros por viaje, a 35 kilómetros /gal	Galón	48	23.00	1,104.00
MONTAJE Y SUPERVISIÓN EQUIPOS Y LÍNEAS					14,729.00
26	Alambre AWG 1/0	Metro	6	30.00	180.00
27	1 Caja de flipones	Caja	1	57.54	57.54
28	1Cable conductor calibre 8	Metro	680	21.62	14,701.60
29	1Cable conductor calibre 6	Metro	2	7.26	14.52
30	Flipones de 1x50 Amperios	Unidad	2	29.48	58.96
31	Flipones de 1x10 Amperios	Unidad	2	21.00	42.00
32	Lámparas de 11 W General Electric	unidad		26.88	0.00
33	1 varilla de cobre para tierra	unidad	1	55.23	55.23
34	1 cable conductor de cobre multifilar para tierra	metro	6	29.62	177.72
35	1 tornillo partido	unidad	2	4.30	8.60
36	1Tubo para acometida 3 m	unidad	1	160.99	160.99
37	abrazaderas patra tubo acometida	unidad	4	3.00	12.00
38	1Calavera de tubo para acometida	unidad	1	15.00	15.00
39	6 postes de hierro galvanizado 2 ½"	tubo	10	232.00	2,320.00
40	14 aisladores tipo carrete y estribos	unidad	20	91.00	1,820.00
41	Tornillos para poste 3"	unidad	30	2.50	75.00
42	CAJAS DE PVC TICINO	unidad	6	5.00	30.00
43	armadura Ticino con apagadores	unidad	8	15.00	120.00
44	Soquet o plafoneras	unid	14	16.00	224.00
ACCESORIOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS					20,100.04
TOTAL ALTERNATIVA No. 1					52,941.08

3.3 Proyecto de Iluminación de la Plaza de Santa Cruz, La Laguna

En esta propuesta, se persigue iluminar la Plaza de Santa Cruz La Laguna la cual está rodeada de la iglesia católica hacia el Este, un Centro de Salud al Norte, el edificio de la Municipalidad al Oeste y una escuela al Sur. Consistirá en 12 lámparas de 11 W de 120 voltios de corriente alterna. La energía provendrá de una línea de transmisión que conducirá la corriente desde la casa de operaciones con voltaje de igual monto que facilitará un inversor de 700 W el cual elevará el voltaje de 12 voltios de corriente directa a 120 en corriente alterna. Contara con una autonomía de 4 días en caso de falla o de mantenimiento de la planta hidroeléctrica esto con la ayuda de 5 baterías de ciclo profundo de 105 amperios-hora y 12 voltios.

PRESUPUESTO ALTERNATIVA No. 2: ILUMINACIÓN PLAZA CENTRAL					
No	PRESUPUESTO	Unidad	Cant.	Costo Unidad	Valor Total
1	Batería ciclo profundo "Deka solar" 105 Ah 12 voltios	unidad	5	890.00	4,450.00
2	Terminales para baterías	juego	4	11.00	44.00
3	I-P-12 Equipo turbogenerador 12/24 V.D.C. 400 W rueda Pelton plástica	unidad	1	14,500.00	14,500.00
EQUIPO ELECTROGENERADOR					18,994.00
4	Adaptador campana de hierro galvanizado 1 y ½	adaptador	1	12.00	12.00
5	1Niple de 2 " x 12 hg	niple	1	19.00	19.00
6	1Válvula de bronce de globo de 1 y ½"	válvula	1	380.00	380.00
7	3 rollos de teflón	rollo	3	3.00	9.00
8	1Codo de hierro galvanizado 1 y ½ "	codo	1	19.99	19.99
9	1 Unión universal de hierro galvanizado 1 y ½ "	unión	1	12.00	12.00
10	Tee de HG de 1 1/2"	unidad	2	45.00	90.00
11	Reducidor campana de hierro galvanizado 1 y ½ a ½	unidad	1	10.45	10.45
12	Reducidor campana de hierro galvanizado ½ a ¼	unidad	1	7.80	7.80
13	válvula de globo o compuerta o esfera de ¼	unidad	1	45.00	45.00
14	niples de 1/4" de HG	unid	4	3.75	15.00
MATERIALES HIDRÁULICOS					620.24
15	1 Llave Steelson o inglesa de 30 "	unidad	2	299.90	599.80
16	1 Voltímetro	unidad	1	200.00	200.00
17	1 Amperímetro	unidad	1	200.00	200.00
18	1 Segueta	unidad	1	42.00	42.00
19	1 Sierra	unidad	1	30.00	30.00
20	Alicates de electricista	unidad	2	35.00	70.00
21	juego destornilladores	juego	1	60.00	60.00
HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS					1,201.80

21	Montaje de equipo hidroeléctrico	m.o.c.	1	3,500.00	3,500.00
22	Caseta de distribución eléctrica	m.o.n.c	1	5000.00	5,000.00
23	Viáticos ingeniero supervisor	día	10	250.00	2,500.00
24	Viáticos asistente ingeniero	día	15	175.00	2,625.00
25	combustible para 6 visitas a razón de 140 kilómetros por viaje, a 35 kilómetros /gal	galón	48	23.00	1,104.00
MONTAJE Y SUPERVISIÓN EQUIPOS Y LÍNEAS					14,729.00
26	Alambre AWG 1/0	metro	6	30.00	180.00
27	1 Caja de flipones	caja	1	57.54	57.54
28	1Cable conductor calibre 8	metro	680	21.62	14701.60
29	1Cable conductor calibre 6	metro	2	7.26	14.52
30	Flipones de 1x50 Amperios	unidad	2	29.48	58.96
31	Flipones de 1x10 Amperios	unidad	2	21.00	42.00
32	Lámparas de 11 W General Electric	unidad	1	26.88	26.88
33	1 varilla de cobre para tierra	unidad	1	55.23	55.23
34	1 cable conductor de cobre multifilar para tierra	metro	6	29.62	177.72
35	1 tornillo partido	unidad	2	4.30	8.60
36	1Tubo para acometida 3 m	unidad	1	160.99	160.99
37	abrazaderas patra tubo acometida	unidad	4	3.00	12.00
38	1Calavera de tubo para acometida	unidad	1	15.00	15.00
39	6 postes de hierro galvanizado 2 ½''	tubo	10	232.00	2320.00
40	14 aisladores tipo carrete y estribos	unidad	20	91.00	1820.00
41	Tornillos para poste 3''	unidad	30	2.50	75.00
42	CAJAS DE PVC TICINO	unidad	6	5.00	30.00
43	armadura Ticino con apagadores	unidad	8	15.00	120.00
44	Soquet o plafoneras	unid	14	16.00	224.00
ACCESORIOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS					20,100.04
TOTAL ALTERNATIVA No 2					55,645.08

3.4 Líneas de Distribución

Esta podrá hacerse con 10 tubos de hierro galvanizado de 6 metros, para portar conductor de calibre AWG No. 8 con una pérdida calculada de 0.52 voltios (menos de 3%) en 330 metros de longitud con revestimiento THW. El conductor ira soportado a los postes por aisladores tipo carrete con sus estribos cada uno o rack de dos carretes. En la casa de control habrá un interruptor con cuchillas general y protegida con flipón de 10 amperios. En los sitios de encendido de lámparas habrá interruptores resguardados contra lluvia y sabotajes.

El tiempo estimado de realización de las obras es de 7 meses.

III. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Se utiliza el método científico, el cual consiste en un proceso ordenado y sujeto a criterios, principios y normas que permiten lograr de manera efectiva un objetivo propuesto y dar respuesta a las interrogantes planteadas sobre un objeto de estudio.

La investigación se desarrolla en tres fases: indagatoria, demostrativa y expositiva.

Fase Indagatoria: Momento en el que se planifica y desarrolla la recolección de datos que conlleva al descubrimiento de la información existente.

Se llevó a cabo con las autoridades municipales y miembros de la comunidad. Observación del pueblo, instalaciones, desarrollo urbano, tradiciones, su cultura y de los nacimientos de agua en el cerro Xe Ka'on.

Se elabora una entrevista para entablar comunicación con los pobladores y conocer el interés que tienen respecto a su hábitat, su entorno, recursos naturales y la conciencia socio ambiental del uso del agua, de los recursos del bosque, entre otros.

Datos que permiten identificar las necesidades de mitigación debido a los efectos antropogénicos ocasionados a los recursos naturales en general y en particular al recurso hídrico de Santa Cruz La Laguna.

La entrevista y sus resultados (ver Anexo 4, pp. 103-105) permiten conocer las características del sistema de abastecimiento de agua potable y a su vez la necesidad que tiene la población de conservar el recurso hídrico, así como la posibilidad de llevar a cabo proyectos de aprovechamiento del recurso hídrico, de la factibilidad de generar energía hidráulica con el sistema de abastecimiento de agua potable establecido y su mejor utilización para beneficio de la Municipalidad y de las instalaciones de carácter comunitario.

Se establece con el alcalde una Carta de Intenciones, para estar en armonía con la población, para tener fácil acceso a la información que se está recabando y para la obtención del acompañamiento de las autoridades, de la Comisión de Medio Ambiente, así como para crear el compromiso de entregar las propuestas ofrecidas. (Ver anexos 2 y 4).

Fase Demostrativa: Se plantean medios, técnicas e instrumentos que permiten obtener, ordenar, cuantificar y analizar la información obtenida.

Se organiza un equipo de apoyo multidisciplinario, para la verificación de los datos obtenidos y en los casos que se requiere una supervisión más especializada, (Inga. Química, Ing. Mecánico, Ing. Civil y Lic. En Antropología).

Visitas técnicas que se realizan durante el proceso de investigación son:

- 5 visitas al municipio de Santa Cruz La Laguna y sus alrededores
- 2 visitas al cerro Xe Ka'on
- 3 visitas a los nacimientos Chirij Ka'on 1 y Chirij Ka'on 2
- 3 visitas a los tanques de distribución

Se obtienen muestras de agua de los nacimientos Chirij Ka'on, se cuantifican y ordenan los datos. Se hacen análisis de laboratorio para establecer las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua. (Ver Gráfica No. 15). Los resultados obtenidos permiten plantear propuestas de aplicación del potencial hidroenergético de los nacimientos estudiados.

Fase Expositiva: Esta última fase, plantea que los resultados deben ser divulgados y expuestos a la Municipalidad, al Consejo Comunitario de Desarrollo y a la comunidad en general.

Se cumple con el proceso de socialización de resultados. Se elaboran 2 propuestas de proyectos de factibilidad de carácter hidroenergético, los cuales son: 1. Iluminación del lavadero público, 2. Iluminación de la Plaza Central (ver propuestas 3.2, y 3.3 , pp. 55-58).

Las propuestas son conocidas por el Consejo Municipal, la Comisión de Medio Ambiente y por el Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODES). Se divulgan los beneficios del aprovechamiento hidroenergético del agua y de su sistema de distribución que puede generar más de 500 W de energía eléctrica.

Se verifica el potencial hidroenergético que posee, debido a los saltos de más de 70 m de altura del recurso hídrico y se establecen las razones por las que las instalaciones de las cajas rompe-presión impiden mayor generación de hidroenergía; se conocen los métodos para el aprovechamiento mencionado y la forma de obtener mejor desarrollo económico

III.1 Diseño

El diseño de la investigación tiene el objeto de proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerlo.

III.2 Procedimiento

La investigación se desarrollará de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Visita de conocimiento de las Autoridades de la Municipalidad de Santa Cruz. Reunión con el Consejo Municipal y el señor Alcalde.
- Visita técnica para determinar la ubicación geográfica y alturas de los nacimientos Chirij Ka'on, las cajas rompe-presión, diámetros de tuberías, especificaciones de tuberías y tanques de distribución.
- Determinación del potencial hidroenergético del Sistema de Abastecimiento de Agua de Santa Cruz La Laguna.
- Reunión con autoridades municipales y vecinos para exponer el potencial hidroenergético que el sistema no aprovecha y los beneficios que puede tener si se aprovecha en beneficio común.
- Toma de muestras para análisis microbiológico y físico-químico en los dos nacimientos de agua denominados Chirij Ka'on.
- Elaboración de un catálogo de 2 propuestas de proyectos de aprovechamiento de la energía eléctrica: Iluminación de municipalidad, de lavadero público, de Plaza Central, carga de baterías, iluminación de una calle, fuente de agua, etc. Cada propuesta debe incluir al menos descripción, ventajas, presupuesto y tiempo de ejecución.
- Presentar catálogo de propuestas a la Corporación Municipal para decidir cual proyecto impulsar.

III.3 Técnicas

Las técnicas a utilizar para recopilar la información son: la observación y el cuestionario.

La toma de muestras de agua, in situ.

La observación científica a través de la percepción de la realidad exterior, se realiza en la Municipalidad y en la comunidad.

La entrevista, considerada como aquella interacción social con la finalidad de recolectar información de las personas involucradas, población, autoridades, visitantes, etcétera.

III.4 Herramientas

Las herramientas para la recolección y análisis de la información:

- Instrumentos de medición: cinta métrica, receptor GPS, brújula, altímetro.
- Mapas cartográficos escala 1:50,000: Hoja Sololá y Santa Catarina Ixtahuacán.
- Equipo de dibujo
- Cuestionarios
- Equipo de presentación: Cañonera, pantalla, marcadores, pizarra, etc.
- Software y servicios cibernéticos de búsqueda: Word, Autocad Excel, PowerPoint, photoshop, Google Earth, Altavista y Google Search.
- Cámara fotográfica digital.

IV. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA CRUZ LA LAGUNA, SOLOLÁ Y PROPUESTA DE APLICACIÓN

ACTIVIDAD A REALIZAR	mes 1				mes 2				mes 3				mes 4				mes 5				mes 6				mes 7				mes 8							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Reuniones con autoridades municipales y vecinos para exponer el potencial hidroenergético que el sistema no aprovecha y los beneficios que puede tener si se aprovecha en beneficio común.	■	■			■	■																														
2 Visitas técnicas para determinar la ubicación geográfica y alturas de los nacimientos Chirij Ka'on , las cajas rompe-presión, diámetros de tuberías, especificaciones de tuberías y tanques de distribución.	■	■	■																																	
3 Determinación del potencial hidroenergético del Sistema de Abastecimiento de Agua de Santa Cruz La Laguna.							■	■	■	■																										
4 Elaboración de un catálogo de 2 propuestas de proyectos de aprovechamiento de la energía eléctrica: Iluminación de municipalidad, carga de baterías, iluminación de una calle, fuente de agua, etc.											■	■	■	■																						
5 Presentar catálogo de propuestas a la Corporación Municipal para decidir cuál proyecto impulsar.															■	■	■	■																		
6 Elaborar proyecto de prefactibilidad de proyecto elegido (elección de equipos y materiales, presupuesto, mano de obra necesaria, cronograma etc.)															■	■	■	■	■	■																
7 Investigación de tesis e informe final																																				

V. RECURSOS NECESARIOS

CUADRO COSTOS VISITAS TÉCNICAS

FECHA	COSTO	DESCRIPCIÓN
10/06/2008	Q400.00	Transporte y alimentación
15 al 17/07/2008	Q900.00	Transporte, hospedaje, alimentación y 1 persona de equipo de trabajo
15 al 16/08/2008	Q750.00	Transporte, hospedaje, alimentación y 2 personas de equipo de trabajo
22 al 24/09/2008	Q900.00	Transporte, hospedaje y alimentación
28 al 29/10/2008	Q780.00	Transporte, hospedaje y alimentación
18 al 19/11/2008	Q700.00	Transporte, hospedaje y alimentación
03 al 06/12/2008	Q1,100.00	Transporte, hospedaje y alimentación
18 al 19/01/2009	Q900.00	Transporte, hospedaje, alimentación y 2 personas de equipo de trabajo
20 al 22/02/2009	Q900.00	Transporte, hospedaje y alimentación
28/03/2009	Q600.00	Transporte, alimentación y 2 personas de equipo de trabajo
TOTAL	Q7,930.00	

CUADRO COSTOS EQUIPO INSTRUMENTAL

DESCRIPCIÓN	COSTO
6 exámenes bacteriológicos **	Q1,680.00
Análisis físico-químico sanitario de los nacimientos de Chirij Ka'on**	Q1,050.00
Equipo de medición (GPS, cámara fotográfica, etc)	Q5,385.00
TOTAL	Q8,115.00

Observación: Aporte del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la
Universidad de San Carlos de Guatemala**

CONCLUSIONES

1. Se comprobó que existe la posibilidad de aumentar la potencia eléctrica, si se eliminan las 5 Cajas Rompepresión; con el cambio del diseño de la tubería, lo cual permitiría producir 1,000 W de potencia.
2. Las mediciones de los parámetros hidráulicos y los cálculos permiten prever que es posible instalar una central micro hidroeléctrica de al menos 500 W para que funcionen 12 lámparas de 11 W.
3. Se puede iluminar el Lavadero Público con 6 lámparas de 11 W por 5 horas.
4. Se puede iluminar la Plaza Central con 6 lámparas de 11 W por 5 horas.
5. Otras entidades han mostrado interés es el caso de los del Concurso Ambiental que promueve FORD MOTOR COMPANY, donde conocieron el proyecto con las dos propuestas y podrían dar el financiamiento.
6. Se estableció que no hay necesidad de quitar tubería del sistema de abastecimiento actual, es decir no hay necesidad de alterar la tubería ni el servicio de abastecimiento de agua en Pasiwán Patín de Santa Cruz la Laguna.
7. El agua que proviene de los Nacimientos Chakij Choy, Pasiwán-Patín, pueden también producir energía eléctrica.
8. La motivación de la Municipalidad radica en el ahorro que obtendría, pues actualmente gastan Q.1,000.00 al mes y al aprovechar su propio sistema de abastecimiento de agua; obtendría mayor eficiencia de las instalaciones incrementando los beneficios obtenidos por la energía eléctrica a partir de la hidroenergía, con estos dos proyectos demostrativos.
9. Aporta a la comunidad en iluminación de sus áreas de lavadero público y plaza central, con el consiguiente incremento de seguridad, la posibilidad de pasear por las noches, acceso al atrio de la Iglesia para días festivos, celebraciones más atractivas que posibilitan a su vez incrementar al turismo así como las facilidades y mejores condiciones para este sector.
10. El alcance y la corporación municipal mostraron interés al haber brindado el apoyo a través de guías y colaboradores cuando se fue a los nacimientos y cuando se hicieron las inspecciones en los tanques de distribución, porque comprendieron que pueden contribuir a la formulación de un proyecto que puede aportar a la comunidad.
11. El agua que procede de la última (5ª) Caja Rompepresión, se ha calculado que tiene suficiente energía para producir electricidad de 165 W de potencia.

12. Estos diseños demostrativos para un mejor aprovechamiento del potencial hidroeléctrico que posee Santa Cruz La Laguna, proveen una visión de futuro más prometedor con la mejora económica, apertura de la posibilidad de áreas turísticas con mayor comodidad y fortalecimiento de la conciencia socio ambiental de la población, como una fuerza derivada de la misma hidroenergía, en el momento en que se lleven a su ejecución.

RECOMENDACIONES

1. Los proyectos de energía hidráulica y su aplicación en el área rural crean sinergia entre la Municipalidad, COCODES y la población, por lo que es una forma de interacción de todos los actores, con relación al aprovechamiento del recurso hídrico; así como en la mitigación de los efectos contaminantes en la Cuenca del Lago de Atitlán.
2. Los resultados del uso del recurso hídrico como energía limpia genera sustentabilidad de los recursos naturales con el consiguiente impacto en la población, de Santa Cruz La Laguna. Conviene que las autoridades y líderes comunitarios le den seguimiento a este tipo de proyectos que pueden contribuir al desarrollo económico y social de su Municipio.
3. La Campaña de Educación Ambiental y clasificación de los desechos sólidos que se implementó en octubre de 2008 para las escuelas del Municipio se recomienda que le den seguimiento con la alianza interinstitucional con Cementos Progreso, que ya se les facilitó y que se haga efectiva según lo planificado, durante el 2009.
4. Acciones como la Carta de Intenciones que se estableció entre la Municipalidad y el Consejo Municipal y la estudiante de la Maestría en Energía y Ambiente, se recomienda para trabajos de investigación a futuro, debido a los buenos resultados obtenidos tanto para la parte de proveer información como para la aplicación de los resultados.
5. Se recomienda hacer un equipo multidisciplinario como en esta investigación contando con el apoyo de Ingenieros en distintas áreas (Química, Mecánica, Civil) y de las Ciencias Sociales como antropólogos, que apoyaron la investigación y verificación de procesos y resultados.
6. Se recomienda este tipo de proyectos, ya que el uso de los propios recursos naturales de una manera más racional conlleva la comprensión del cuidado del recurso hídrico con los consiguientes beneficios evidentes a través de la experiencia que tienen las autoridades, que luego puede ser extendida a toda la población por los líderes comunitarios de los COCODES, alcanzando impactos positivos al Medio Ambiente y que puede ir mitigando el cambio climático.
7. Se recomienda el aprovechamiento de la microenergía porque da la oportunidad de un incremento en la producción, posibilitando instalaciones fabriles o de procesamiento de sus granos y otros productos agrícolas como las plantas medicinales pudiendo crear una agroindustria de desarrollo local.

8. Se recomienda llevar a cabo este proyecto porque la población obtiene, como un valor agregado, el cuidado de sus ríos y bosques comunitarios así como del recurso hídrico más grande como es el lago de Atitlán, el cual se verá beneficiado directamente con las medidas de mitigación orientadas a la conservación del recurso hídrico, de la preservación frente a la contaminación. Además, del incremento de la conciencia ambiental de los pobladores y en general de las disposiciones que se adopten como nuevas políticas socio-ambientales del manejo del recurso hídrico y de su aprovechamiento por medio de los proyectos de utilización de la energía hidráulica en beneficio del desarrollo de Santa Cruz, La Laguna, de una manera integral.
9. Se puede imprimir una breve guía de los beneficios del uso del potencial hidroenergético de Santa Cruz La Laguna y del buen aprovechamiento de sus recursos naturales, con las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación, con la finalidad de divulgarlo entre la población.

BIBLIOGRAFÍA

Citas Textuales

1. **(1) Inversin, Allen.** Micro-Hydropowr SourceBook. NRECA International Foundation Washington D.C.Second Edition 1990
2. **(2) Pijoan, José.** Historia del Mundo. Tomo 5 Salvat Editores, S.A. España 1978, pp 111
3. **(3) El Faiz, Mohammed.** Ponencia de Sevilla 2006.Profesor de Historia Económica, pp. 309 a 318.
4. **(4) Taddei, Mario, Zanon, Edoardo y Lauranza, Domenico.** Leonardo´s Machines. D´ Vinci´s Inventions. David & Charles Publication. Milano 2006 pp. 134.

Referencias Bibliográficas

1. **Acevedo, Arias, Cazalli, García y otros.** Medio Ambiente y Salud. AECI y OTC. Guatemala 2007, pp 56 – 89, 193 a 235, 318 – 340.
2. Censos Nacionales XI de Población y VI de Habitación. Instituto Nacional de Estadística INE. Guatemala, año 2002.
3. **El Faiz, Mohammed.** Ponencia de Sevilla 2006.Profesor de Historia Económica, pp. 309 a 318.
4. **García Herrera, Gustavo y Ramírez, José Manuel.** Manual Práctico para Elaborar Proyectos Sociales. 1ª. Edición, Edición Siglo XXI, Abril 2006, Madrid España.
5. **García Ramón - Pelayo y Gross.** Diccionario Larousse Ilustrado, pp 443, 542, 543, 915, 918, 1001, 1002, 1070, 1072.
6. **Gordillo Castillo, Enrique.** Guía General de Estilo para la Presentación de Trabajos Académicos. Guatemala. Centro de Estudios Urbanos y Regionales, Universidad de San Carlos de Guatemala, año 2002.
7. **Guerra Borges, Alfredo.** Guatemala: 60 años de historia económica. Guatemala: Ediciones Armar, año 2006.

8. Guía para el uso del Sistema Internacional de Unidades (Norma Centroamericana ICAITI 40-10) ICAITI Guatemala 1980.
9. Informe Nacional de Desarrollo Humano 2005- Diversidad étnico-cultural: La Ciudadanía en un Estado Plural. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. 2da, Edición. Guatemala: Ed.Sur, S.A. año 2005.
10. **Inversin, Allen.** Micro-Hydropowr SourceBook. NRECA International Foundation Washington D.C.Second Edition 1990
11. **James, Peter and Thorpe Nick.** Ancient Inventions the Random House Publishing Group. Estados Unidos 1995, pp 391.
12. Manifiesto de La Cumbre de la Tierra. Brasil, 1992.
13. Manual de Saneamiento, Vivienda, agua y desechos de Ingeniería Sanitaria, Secretaría de Salubridad y Asistencia. Editorial IMUSA, México, 1998.
14. **Munford, Lewis.** Técnica y Civilización. Mc Graw – Hill Interamericana, S.A., California, E. U. A., 2006, pp. 96.
15. **Ochoa García, Carlos, Simaj, Gregorio y otros autores.** Nuestra Geografía del Lago Atitlán. Perla Petrich, Ediciones. Guatemala 1998.
16. **Ortiz Flores, Ramiro.** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Mc Graw – Hill Interamericana, S.A., Colombia 2001.
17. Perfil Temático Biodiversidad. Proyecto “Autoevaluación de la capacidad nacional para el manejo ambiental global”. Guatemala, Octubre 2007.
18. **Pijoan, José.** Historia del Mundo. Tomo 5 Salvat Editores, S.A. España 1978, pp 111
19. **Pineda Suárez, Carlos Julio.** Las Empresas de la Economía Solidaria en Iberoamérica. Colombia: Mc Graw-Hill, año 1999.
20. **Santu, Ruth, Bomiols, Paula, Dalle, Pablo, Elbert, Rodolfo.** Manual de Metodología,. CLACSO LIBROS, Argentina 2006.
21. **Taddei, Mario, Zanon, Edoardo y Lauranza, Domenico.** Leonardo’s Machines. D’ Vinci’s Inventions. David & Charles Pbulication. Milano 2006 pp. 134.

22. Tecnología para erradicar la pobreza. PNUD. Proyecto R. L.A./86/004. Bogotá Colombia 2004
23. **Tyler Miller, Gregory**. Jr. Manual de Ecología y Medio Ambiente. Editorial Universidad de Palo Alto, California. 2006.
24. **Viejo Zubicaray, Manuel**, Energía Hidroeléctrica, Turbinas y Plantas Generadoras. Editorial Limusa, México.1977

Referencias electrónicas

1. "Energía hidráulica," Enciclopedia Microsoft® Encarta® Online 2008 <http://es.encarta.msn.com> © 1997-2008 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
2. <http://www.caballano.com/francis.htm>
3. www.desarrollohumano.org.gt
4. http://www.iadb.org/sds/publication/publication_46_s.htm
5. www.ine.gob.gt
6. http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm
7. www.pnudguatemala.org
8. <http://unaepime.net/laboratorios/mecanica>

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DE SANTA CRUZ LA LAGUNA	73
ANEXO 2: CARTA DE INTENCIONES	94
ANEXO 3: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUAS	95
ANEXO 4: RESULTADO DE ENTREVISTAS	102

ANEXO 1

FOTOGRAFÍAS DE SANTA CRUZ LA LAGUNA

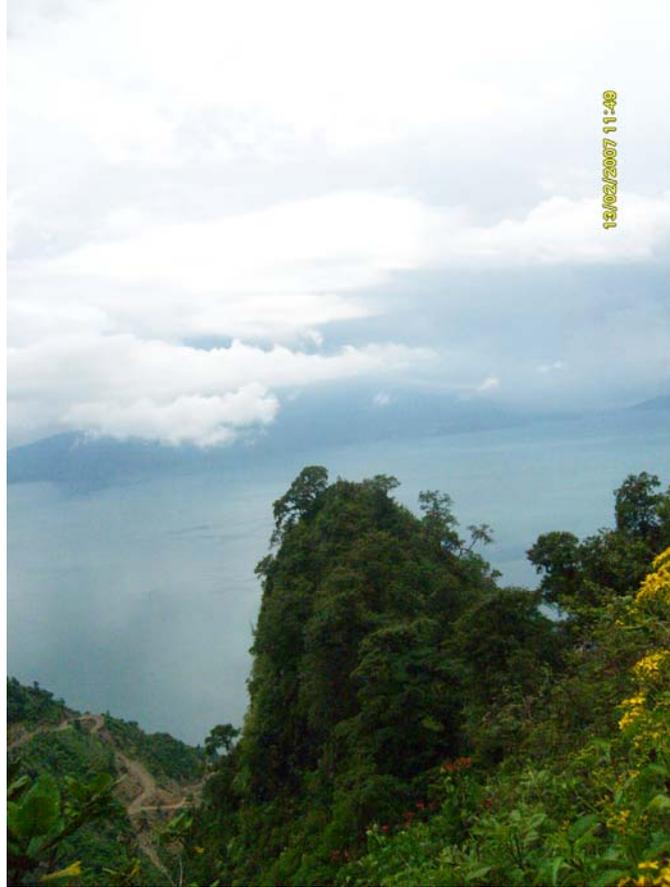


No. 1: Hacia Santa Cruz La Laguna, Sololá



No. 2: Vista de Santa Cruz La Laguna desde Cerro Xe Ka'on.

Nota: El fechador de la cámara está dañado, todas las fotos fueron tomas de julio de 2008 a febrero de 2009.



No. 3: Cerro Xe Ka'on, sitio ceremonial



No. 4: Lago de Atitlán y Cerro Xe Ka'on



No. 5: Carretera hacia Santa Cruz La Laguna desde Sololá



No. 6: Miembros del Equipo Multidisciplinario, Inga. Telma Cano, Ing. Erick González y miembro de la comunidad, en el muelle de Santa Cruz La Laguna, Sololá. Fotografía tomada por Milagro Fajardo Ríos.



No. 7: Sitio Ceremonial y flora del Cerro Xe Ka'on



No. 8: Camino hacia los nacimientos Chirj Ka'on



No.9: Plantas medicinales en los Nacimientos Chirij Ka'on



No. 10: Flora en Nacimientos Chirij Ka'on



No. 11: Uso agrícola en el entorno de los Nacimientos Chirij Ka'on



No. 12: Vista de Xe Ka'on desde los Nacimientos



No. 13: Camino desde el Lago Atitlán hacia centro Santa Cruz La Laguna



No. 14: Carretera desde el Muelle de Santa Cruz hacia el pueblo



No. 15: Camino hacia el pueblo de Santa Cruz La Laguna, contaminación del río



No. 16: Contaminación con desechos sólidos



No. 17: Milagro Fajardo camino a los Nacimientos



No. 18: Cementerio y Vista de la Municipalidad de Santa Cruz La Laguna



No. 19: Contaminación visual y de los recursos naturales



No. 20: *Ricinus comunis*.



No. 21: Río Pasiwán, Santa Cruz La Laguna



No. 22: Viviendas y topografía del pueblo



No. 23: Plaza Central vista desde el 3er. Nivel de la Municipalidad de Santa Cruz La Laguna



No. 24: Plaza Central, puesto de salud, Iglesia y Cancha de Básquetbol



No. 25: Trazo de calle a 35°



No. 26: Trazo del trayecto hacia plaza Central



No. 27: Niñas Cakchiqueles en Santa Cruz La Laguna



No. 28: Carga de Leña que se obtiene de los Bosques de Santa Cruz La Laguna.



No. 29: Lavadero público de Santa Cruz la Laguna



No. 30: Escudo de la Municipalidad



No. 31: Consejo Municipal de Santa Cruz La Laguna

Gregorio Simaj García,	Alcalde Municipal
Víctor Chumil Tepaz,	Síndico Primero
Andrés Simón Hernández,	Síndico Segundo
Pascual Cúmes Tepaz,	Concejal Primero
Alejandro Miguel Mendoza Tepaz,	Concejal Segundo
Francisco Mendoza Tepaz,	Concejal Tercero
Ramos Hernández Santos,	Concejal Cuarto
Juan Días Hernández,	Sindico Suplente
Pascual Santos Tepaz,	Concejal Suplente Primero
Pedro Sipac Hernández,	Concejal Suplente Segundo



No. 32: Milagro Fajardo en la Municipalidad de Santa Cruz La Laguna



No. 33: Carlos Hernández de la oficina Municipal de Planificación OMP.



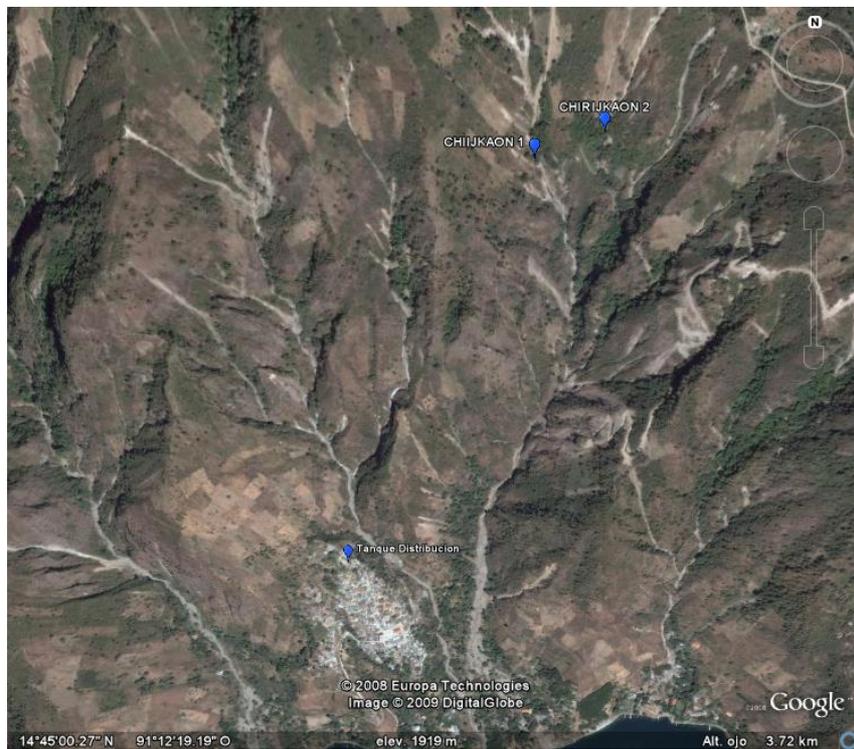
No. 34: Tanque de distribución del sistema de agua potable de Santa Cruz La Laguna



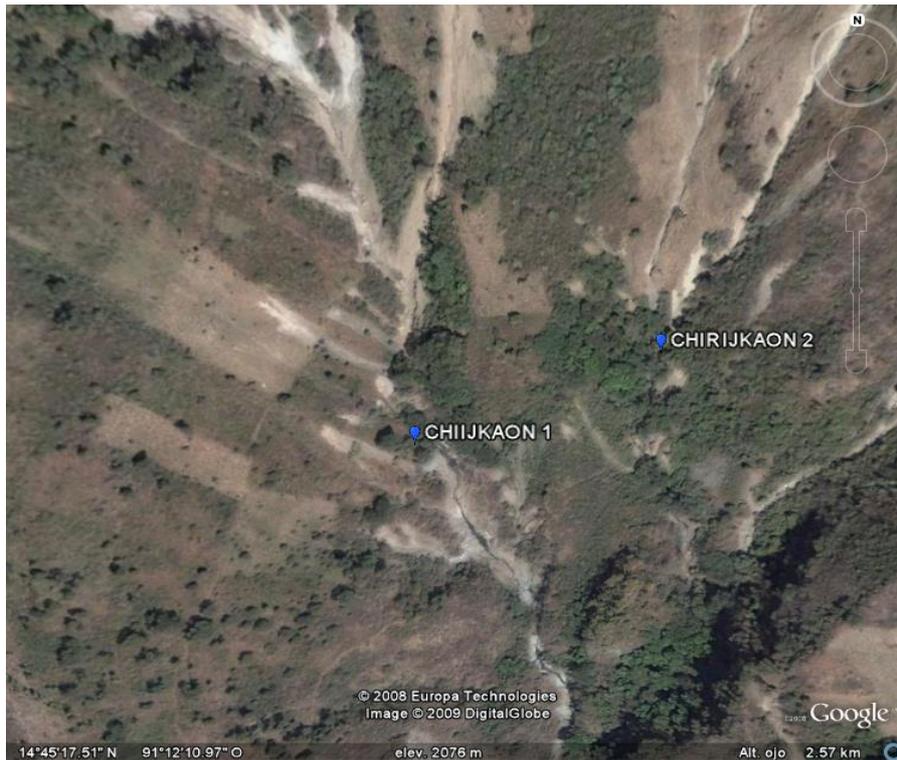
No. 35: Interior del Tanque de distribución del sistema de agua potable



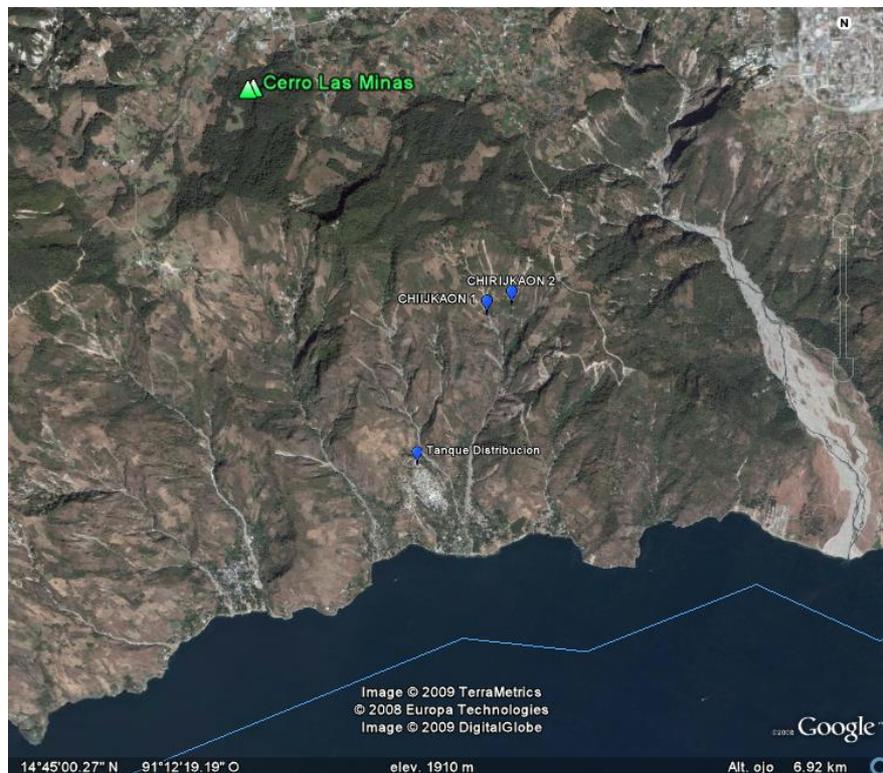
No. 36: Caja Rompe Presión del sistema de distribución de agua potable



No. 37: Chirij Ka'on y Tanque de distribución de Santa Cruz La Laguna



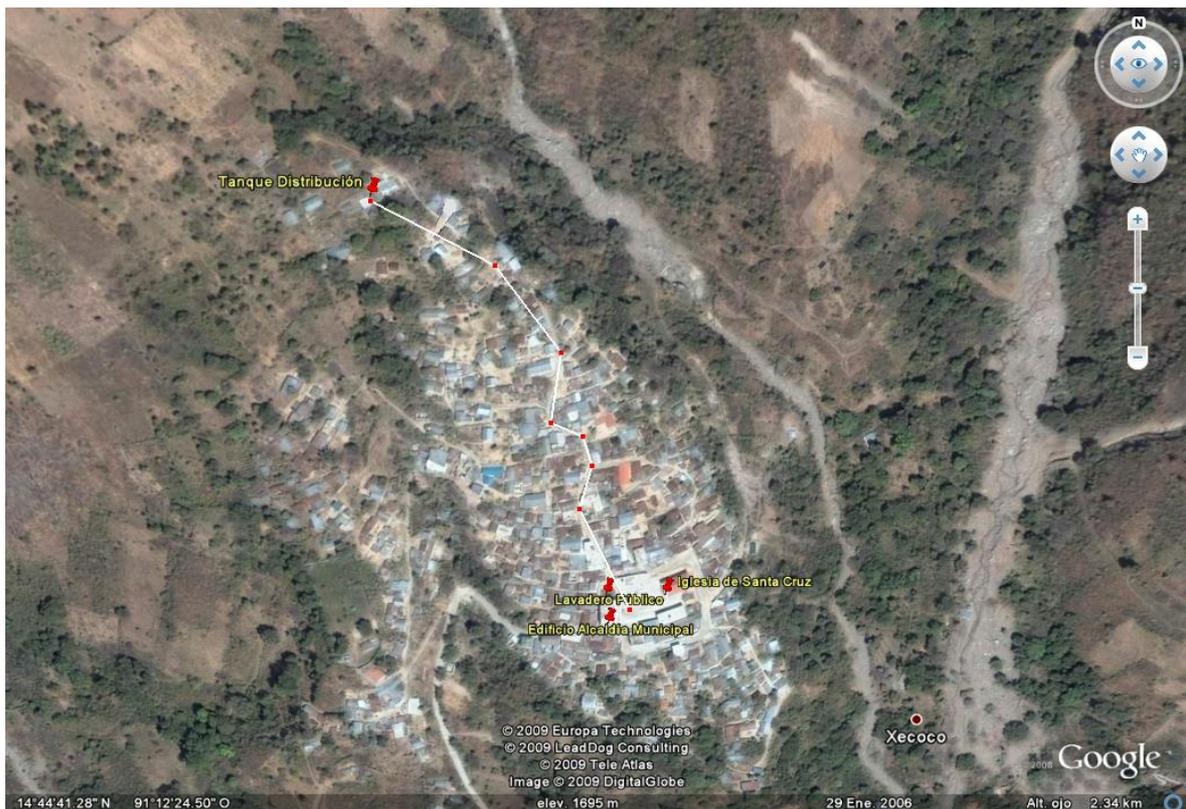
No. 38: Nacimientos de Agua Chirij Ka'on 1 y 2



No. 39: Ubicación geográfica satelital de los nacimientos de agua, Santa Cruz La Laguna



No. 40: Trazo de la conducción de hidroenergía hacia la plaza central



No. 41: Aprovechamiento hidroenergético del sistema de distribución de agua de Santa Cruz La Laguna para iluminar plaza central y/o lavadero público

ANEXO 2

CARTA DE INTENCIONES

En la Alcaldía reunidos el señor profesor Gregorio Simaj, alcalde Municipal de Santa Cruz La Laguna, Sololá y la licenciada María Milagro Fajardo Ríos, estudiante de la maestría en Energía y Ambiente de la Universidad de San Carlos, suscriben la siguiente:

CARTA DE INTENCIONES.

Objetivo: Evaluar las propuestas de aprovechamiento hidroenergético del sistema de abastecimiento de agua potable procedente de los nacimientos Chirij Ka'on para el establecimiento de un sistema demostrativo de electrificación rural utilizando los sistemas de abastecimiento de agua en Municipio de Santa Cruz La Laguna, Sololá.

INTENCIONES

Acuerdan ambas partes las siguientes intenciones

Presentar un proyecto de aprovechamiento hidroenergético demostrativo ante representantes del Premio Ford Motor Company para la Conservación.

La municipalidad se compromete a:

Facilitar al menos una persona guía cada vez que sea necesario visitar las instalaciones de los nacimientos, el tanque de distribución y otros que se requieran

Facilitar a personas que funjan como ayudantes para el traslado de equipos, para hacer mediciones, pruebas y otras instalaciones

Cuando sea posible, facilitar alojamiento y hospedaje que se le solicite con anticipación.

Avalar las actividades del proyecto demostrativo:

Por parte de la licenciada María Milagro Fajardo Ríos.

Responsabilizarse de buscar a los expertos necesarios para las mediciones y evaluación finales necesarios para determinar puntualmente la potencialidad energética del agua potable procedente de los nacimientos Chirij Ka'on.

Efectuar los presupuestos económicos y de materiales para llevar a cabo el proyecto en caso de obtenerse fondos para ejecutar el proyecto.

Llevar el control de gastos del proyecto en caso de obtenerse financiamiento.

Rendir cuentas cuando el Consejo Municipal se lo solicita.

Efectuar las propuestas de aprovechamiento energético

Rendir un informe final de actividades y gastos que se efectuaren.

Dado en Santa Cruz La Laguna a los veinticuatro días del mes de febrero del 2009

Profesor Gregorio Simaj

Alcalde Municipal

Santa Cruz La Laguna, Sololá

Licda. María Milagro Fajardo Ríos

Tesista de Maestría Energía y Ambiente

Escuela de estudios de Postgrado de Ingeniería
de la Universidad de San Carlos de Guatemala

ANEXO 3

RESULTADO ANÁLISIS DE AGUAS



**ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE
NACIMIENTO CHIRIJ KA'ON 1**

LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: Santa Cruz La Laguna,
Nacimiento 1

FUENTE: Nacimiento de agua

MUNICIPIO: Santa Cruz La Laguna

DEPARTAMENTO: Sololá

FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: 2009-01-11; 11h 5 min

FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2009-01-12; 15 h 10 min

**RESULTADOS EXAMEN BACTERIOLÓGICO
INVESTIGACIÓN DE COLIFORMES (GRUPO COLI- AEROGENES)**

PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACIÓN DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS - 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10.00 cm ³	++++-	+++ -	+++ -
00.10 cm ³	-----	innecesaria	innecesaria
00.010 cm ³	-----	innecesaria	innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MÁS PROBABLE DE GÉRMENES/100 cm ³		8	8

RESULTADO ANÁLISIS DE AGUAS



ESCUELA DE POSTGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: Santa Cruz La Laguna,
Nacimiento 1

FUENTE: Nacimiento de agua

MUNICIPIO: Santa Cruz La Laguna

DEPARTAMENTO: Sololá

FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: 2009-01-11; 11h 02 min

FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2009-01-12; 15 h 10 min

RESULTADOS EXAMEN BACTERIOLÓGICO

INVESTIGACIÓN DE COLIFORMES (GRUPO COLI- AEROGENES)

PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACIÓN DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS - 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10.00 cm ³	++++-	+++	+-
00.10 cm ³	-----	innecesaria	innecesaria
00.010 cm ³	-----	innecesaria	innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MÁS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100 cm ³		4	2

RESULTADO ANÁLISIS DE AGUAS



**ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: Santa Cruz La Laguna,
Nacimiento 1

FUENTE: Nacimiento de agua

MUNICIPIO: Santa Cruz La Laguna

DEPARTAMENTO: Sololá

FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: 2009-01-11; 11h 00 min

FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2009-01-12; 15 h 10 min

RESULTADOS EXAMEN BACTERIOLÓGICO

INVESTIGACIÓN DE COLIFORMES (GRUPO COLI- AEROGENES)

PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACIÓN DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS - 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10.00 cm ³	+ + + - -	+ + -	+ -
00.10 cm ³	+ + - - -	- -	Innecesaria
00.010 cm ³	innecesaria	innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MÁS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100cm ³		4	2

RESULTADO ANÁLISIS DE AGUAS



**ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

NACIMIENTO CHIRIJ KA'ON 2

LUGAR DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA: Santa Cruz La Laguna,
Nacimiento 2

FUENTE: Nacimiento de agua

MUNICIPIO: Santa Cruz La Launa

DEPARTAMENTO: Sololá

FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: 2009-01-11; 11h y 10 min

FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2009-01-12; 15h 10 min

RESULTADOS EXAMEN BACTERIOLÓGICO INVESTIGACIÓN DE COLIFORMES (GRUPO COLI- AEROGENES)

PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACIÓN DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS - 35 °C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10.00 cm ³	+++++	+++++	+++++
00.10 cm ³	++++-	++++	++++
00.010 cm ³	-----	innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MÁS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100 cm ³		130	130

RESULTADO ANÁLISIS DE AGUAS



**ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

LUGAR DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA: Santa Cruz La Laguna,
Nacimiento 2

FUENTE: Nacimiento de agua

MUNICIPIO: Santa Cruz La Laguna

DEPARTAMENTO: Sololá

FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: 2009-01-11; 11h y 12 min

FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2009-01-12; 15h 10 min

RESULTADOS EXAMEN BACTERIOLÓGICO

INVESTIGACIÓN DE COLIFORMES (GRUPO COLI- AEROGENES)

PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACIÓN DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS - 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10.00 cm ³	+++++	+++++	+++++
00.10 cm ³	++++-	++++	++++
00.010 cm ³	-----	innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MÁS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100 cm ³		130	130

Se recomienda seguir aplicando cloro.

RESULTADO ANÁLISIS DE AGUAS



ESCUELA DE POSTGRADO FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRÍA EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

LUGAR DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA: Santa Cruz La Laguna,
Nacimiento 2

FUENTE: Nacimiento de agua

MUNICIPIO: Santa Cruz La Laguna

DEPARTAMENTO: Sololá

FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: 2009-01-11; 11h y 13 min

FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2009-01-12; 15h 10 min

RESULTADOS EXAMEN BACTERIOLÓGICO

INVESTIGACIÓN DE COLIFORMES (GRUPO COLI- AEROGENES)

PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACIÓN DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACIÓN DE GAS - 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10.00 cm ³	+++++	+++++	+++++
00.10 cm ³	+++++	+++++	+++++
00.010 cm ³	-----	innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MÁS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100 cm ³		240	240



ESCUELA DE POSTGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

RESULTADO ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO

RESULTADOS	
ASPECTO	Claro
COLOR	01.00 Unidades
TURBIEDAD	00.79 UNT
OLOR	Inodora
SABOR	----
Potencial de Hidrógeno	07,20 unidades
TEMPERATURA (en el momento de recolección)	--°C
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	135,00 µohms/em

SUSTANCIA	mg/L	SUSTANCIA	mg/L	SUSTANCIA	mg/L
AMONÍACO	00.17	CLORUROS (CT)	05.00	SÓLIDOS TOTALES	86.00
NITRITOS (NO ₂)	0.00	FLUORUROS (F)	00.21	SÓLIDOS VOLÁTILES	09.00
NITRATOS (NO ₃)	02.20	SULFATOS (SO ² ₄)	01.00	SÓLIDOS FIJOS	77.00
COLOR RESIDUAL	----	HIERRO TOTAL	00.02	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	01.60
MANGANESO (Mn)	0.008	DUREZA TOTAL	68.00	SÓLIDOS DISUELTOS	72.00

ALCALINIDAD (CLASIFICACIÓN)	
HIDRÓXIDOS mg/L	00.00
CARBONATOS mg/L	00.00
BICARBONATOS mg/L	72.00
ALCALINIDAD TOTAL mg/L	72.00

ANEXO 4

RESULTADO DE ENTREVISTAS



ESCUELA DE POSTGRADO FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRÍA EN ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

BOLETA DE RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD Y PROCEDENCIA DEL AGUA Y PRODUCCIÓN DE DESECHOS SOLIDOS EN LA CABECERA MUNICIPAL DE SANTA CRUZ LA LAGUNA SOLOLÁ

1. **¿Cuáles son las fuentes de agua que utiliza la municipalidad para la distribución a la cabecera municipal de Santa Cruz la Laguna?**

El 100% de los entrevistados respondió que la fuente que utilizan es un manantial.

2. **¿De qué material es la tubería de la red de distribución de agua potable?**

El 100% de las respuestas fueron: P.V.C y Poliducto

3. **El agua, en los tanques de capacitación, ¿se le da algún tratamiento?**

El 100% de los entrevistados dijeron que sí.

4. **Si el agua es tratada en el tanque de distribución ¿Qué tipo de tratamiento le aplican?**

El 100% respondió el agua es tratada por cajas areneras y filtros.

5. ¿Cómo se eliminan las aguas residuales provenientes de las viviendas en la comunidad?

El 100% de las respuestas indican que por medio de una planta de tratamiento la cual no funciona.

6. Sí se tiene red de drenajes, ¿se cuenta con una planta de tratamiento para las aguas residuales?

El 100% respondió que sí.

7. Si no se tiene una red de drenajes, ¿Cuáles son las razones?

No contestaron.

8. ¿Considera que parte de las aguas residuales provenientes de las viviendas se vierten al lago de Atitlán?

El 100% de los encuestados respondió que sí.

9. Si parte de las aguas residuales se vierten en el lago, ¿De dónde provienen?

El 100% comento que provienen de los ríos.

10. ¿Qué tipo de industrias se tienen en la comunidad?

El 100% concordó en que no hay ninguna industria.

11. ¿Qué tipo de instituciones comerciales se tienen en la comunidad?

Todos respondieron que las instituciones comerciales son tiendas, comedores y hoteles.

12. ¿Qué tipo de instituciones de servicio se tienen en la comunidad?

El 100% dijo que tienen Centro de Salud, Amigos De Santa Cruz y AMSCLAE (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago Atitlán y su Entorno)

13. ¿Se vierten aguas residuales al lago? ¿Cómo se vierten?

57% de los encuestados respondió que se vierten al lago después de pasar por la planta de tratamiento.

43% de los entrevistados respondieron que la planta de tratamiento no funciona.

14. ¿Se tiene servicio de recolección de basura en la municipalidad?

El 100% respondió que no tienen recolección de basura.

15. ¿Tienen basurero municipal? Si no posee, ¿Cuál es la causa?

El 100% dijo que sí. Y también dijo que el lugar de acopio está en la Cabecera Municipal.

16.

a. ¿Qué cantidad de basura genera Santa Cruz?

Santa Cruz genera 30 cargas por mes, según el 90% y 20 cargas por mes según el 10%.

b. ¿Considera que la cantidad de desechos sólidos es suficiente para mandar a reciclar?

El 100% considera que la cantidad Sí es suficiente.

c. ¿Qué proyecto de desarrollo auto sostenible cree que se puede realizar en la comunidad?

71% Propone un proyecto de reciclaje.

57% propone un Tren de Saneamiento.

57% propone un proyecto de reforestación.

17. ¿Considera que se está deteriorando el cerro Chirij Ka'on donde se encuentran los dos nacimientos de agua?

Según el 100% de los entrevistados sí.

18. ¿Obtiene su familia leña del bosque o cerca de los nacimientos de agua?

El 100 % respondió que sí.

A. En caso afirmativo, ¿Qué cantidad de leña sacan?

14% respondió 40 cargas.

14% respondió 35 cargas.

28% respondió 30 cargas.

28% respondió 25 cargas.

14% respondió 20 cargas.