

Estudio técnico y económico preliminar de los recursos geotérmicos de la República Dominicana

N° de informe 17 CFG 67
Junio 2017



3, Avenue Claude Guillemin – B.P. 46429
45064 ORLEANS CEDEX 2 France
Tél.: 02 38 64 31 22 - Fax: 02 38 64 32 83
contact@cfgservices.fr - www.cfgservices.fr
RCS Orléans 444 572 044 – SIRET 444 572 044 00014

CALIDAD

Número de asunto : TEC 16 017

Número de informe : 17 CFG 67

Redactores	Verificador	Validador
<p>Nombre : E. BOURDON D. TOURNAYE</p> <p>Fecha : 05/06/2017</p> <p>Firma</p> 	<p>Nombre : A. Vincensini</p> <p>Fecha : 05/06/2017</p> <p>Firma</p> 	<p>Nombre : E. LASNE</p> <p>Fecha : 05/06/2107</p> <p>Firma</p> 

REVISION

Versión	Fecha	Modificación
A	5/06/2017	Primer borrador
B		
C		
D		

CLIENTE

Nombre :

Ministerio de Energía y Minas de Rep. Dominicana
Banco Interamericano de Desarrollo
BRGM

Dirección : Avenida Tiradentes N°53, Edificio B
Ensanche Naco, Santo Domingo
Codigo Postal: 10124
República Dominicana

DIFFUSION

SUMARIO

1	SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN REPÚBLICA DOMINICANA.....	7
2	SITUACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL EN LA REPÚBLICA DOMINICANA.....	8
3	EL CONSUMO DE ENERGIA FINAL POR SECTORES.....	10
4	DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS VISITADAS Y LA DEMANDA LOCAL EXISTENTE DE ENERGÍA.....	11
4.1	La zona de Canoa	11
4.2	La zona de Guayabal (Fuente la Tina).....	12
4.3	La zona de Magueyal.....	13
4.4	La zona de Constanza (Los Bambuses y Valle Nuevo)	14
4.5	La zona de San José de las Matas (Aguas Calientes)	16
5	EL SECTOR ELÉCTRICO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA	17
6	EL SECTOR AGRÍCOLA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA	23
6.1.1	El arroz	25
6.1.2	El plátano	26
6.1.3	El cacao.....	26
6.1.4	El tabaco.....	27
6.1.5	El café	28
6.1.6	Los invernaderos	30
7	EL SECTOR INDUSTRIAL EN LA REPÚBLICA DOMINICANA	31
8	EL SECTOR RESIDENCIAL EN LA REPÚBLICA DOMINICANA	35
9	EL SECTOR DEL TURISMO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA.....	37
10	LAS POSIBLES APLICACIONES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA	40
10.1.1	Perforación geotérmica en la República Dominicana	41
10.1.2	Proyectos potenciales para la generación de electricidad.....	42
10.1.3	Proyectos potenciales para usos directos.....	43
11	BIBLIOGRAFIA	45

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 : Matriz energética de la demanda final de energía en Republica Dominicana en 2014	9
Ilustración 2 : Distribución del consumo de energía final por sectores de consumo (2011-2015).....	10
Ilustración 3 : Carretera de acceso (izquierda) a las fuentes termales de Canoa (derecha)	12
Ilustración 4 : Carretera de acceso (izquierda) a la fuente de la Tina y los invernaderos en la zona de Guayabal (derecha) 13	
Ilustración 5 : El camino de acceso a la fuente de Magueyal pasando por el río Yaque.....	14
Ilustración 6 : Almanecenes Frigoríficos Dominicanos – ALFRIDOMSA (izquierda) y invernaderos (derecha) en la zona de Constanza.....	16
Ilustración 7 : Proceso de secado artesanal de café en la procesadora La Sabaneta (izquierda) y las fuentes de las Termas de Aguas Calientes (derecha) en San José de las Matas	17
Ilustración 8 : Mapa del sistema eléctrico interconectado de la Republica Dominicana (Fuente: SENI).....	18
Ilustración 9 : Precios promedios de compra (por los distribuidores) y de venta (al consumidor final) en Marzo 2015	19
Ilustración 10 Evolución de los costes unitarios nivelados de la electricidad producida a partir de diferentes fuentes de energía entre 2010 y 2016 (Fuente: IRENA).....	20
Ilustración 11 Características de funcionamiento de un ORC Aqylon ATM-10006L de 1 MW neto (Fuente: Empresa Aqylon)	21
Ilustración 12 : Principio de funcionamiento general del primer módulo ORC de Chena (en realidad existen 3 módulos ORC en total).....	22
Ilustración 13 Mapa de distribución los productos agrícolas de la República Dominicana	24
Ilustración 14 : Secadora de arroz padi usando geotermia de baja energía (Fuente, FAO, 2015).....	25
Ilustración 15 Secadora de frutas usando energía geotérmica (Fuente : FAO 2015).....	26
Ilustración 16 Ejemplo de secadora de cacao (potencialmente adaptable a la energía geotérmica).	27
Ilustración 17 : Esquema de secador de tabaco usando agua geotérmica como fluido de calentamiento (Fuente: S. Popovska-Vasilevska)	28
Ilustración 18 : Cantidades y valor del café dominicano exportado entre 2006 y 2016.....	28
Ilustración 19 Ejemplo de secador de café usando energía geotérmica (Fuente: U. Sumotarto).	29
Ilustración 20 : Unidad de calentamiento horizontal usando agua caliente (Fuente: FAO)	30
Ilustración 21 Sistema de distribución de calefacción en tubos para un calentamiento del suelo dentro de un invernadero (Fuente FAO)	31
Ilustración 22 Temperaturas en Constanza durante el año (promedio 1971-2000). Fuente: Onamet	31
Ilustración 23 Evolución de la participación porcentual de la industria en el valor agregado, 1991-2016 (Año base 2007). (Fuente : Ministerio de industria comercio y mipymes).	32
Ilustración 24 : Evolución del aporte al valor agregado industrial, por actividades económicas, 1991-2016	33
Ilustración 25 Rango de temperatura para procesos industriales (y agricultura). Temperaturas en °C y °F (Fuente: Johannesson and Chatenay)	35
Ilustración 26 : La densidad de población en la República Dominicana	37
Ilustración 27 Aporte del turismo a la economía dominicana entre 2010 y 2016.....	38
Ilustración 28 Modo de operación de la planta de trigeneración de Bavaro (Fuente: A. Colombano)	39
Ilustración 29 Ejemplo de análisis para el costo de un pozo geotermico de referencia a 2175 m de profundidad en Islandia	41
Ilustración 30 Ejemplo de un sistema simple de calentamiento geotérmico de un invernadero en Nueva Zelanda (Fuente: E. Bourdon)	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Consumo neto de energía por cada tipo de fuente energética en el sector industrial (Fuente CNE).....	34
Tabla 2 : Consumo neto de energía por cada tipo de fuente energética en el sector residencial (Fuente CNE).....	36
Tabla 3 : Consumo neto de energía por cada tipo de fuente energética en el sector turístico (Fuente CNE).....	38

1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN REPÚBLICA DOMINICANA

Actualmente, el uso de la energía geotérmica en la República Dominicana se limita a la balneología e hidroterapia, usando los recursos hidrotermales de forma recreativa en áreas poco o no desarrolladas (por ejemplo, Canoa) o instituciones privadas (por ejemplo, Aguas Calientes). A pesar de varios estudios desde los años 80 sobre la energía geotérmica (o más exactamente sobre la caracterización de los recursos geotérmicos), ningún desarrollo significativo de uso industrial de la energía geotérmica (para la producción de electricidad o usos directos) ha surgido más allá del uso lúdico-termal. La principal razón de esa falta de desarrollo está relacionada con la dificultad de caracterizar con precisión los yacimientos geotérmicos profundos de la República Dominicana (más allá del estudio general de algunos manantiales calientes superficiales). De hecho, el único intento de caracterizar los recursos geotérmicos profundos al nivel local con una perforación exploratoria de un pozo de sólo 200 m en la zona del Valle Nuevo fue realizado en 1980 y resultó ser un fracaso.

El nuevo estudio efectuado por el BRGM en 2016-2017 tiene como objetivo principal la evaluación del potencial geotérmico de la República Dominicana sobre la base de los estudios existentes, completado con un estudio de campo y de laboratorio de diferentes fuentes termales del país (en geología y geoquímica) y un estudio técnico y económico preliminar sobre la base de estos resultados. Este primer estudio debe definir las principales áreas de interés geotérmico en el país con el fin de llevar a cabo, en una segunda etapa, estudios adicionales más específicos (por ejemplo, en geofísica) antes de considerar la perforación exploratoria en las zonas más prometedoras.

Uno de los principales resultados del estudio BRGM es probablemente que no existen (al contrario de lo que se supuso en los años 80) recursos geotérmicos de alta energía en la República Dominicana. De hecho, los resultados geoquímicos obtenidos en los diferentes manantiales de agua caliente en el país mostraron que la temperatura máxima de los reservorios geotérmicos asociados probablemente varía de 30 ± 10 ° C (El Ret) a 90 ± 20 °C máximo (La Tina - Guayabal) . Estas temperaturas son insuficientes para esperar producir electricidad con una turbina de vapor convencional. En el campo de las turbinas binarias (ORC – Organic Rankine Cycle), estas temperaturas son generalmente demasiado bajas para aspirar a producir electricidad en condiciones técnicas y económicas satisfactorias (véase más adelante). En contraste, las temperaturas estimadas en algunas áreas son perfectamente adecuadas para considerar los usos directos de calor para varios procesos en el ámbito de la vivienda, la agricultura o la industria.

Para estos usos directos del calor geotérmico, se recuerda aquí que los usuarios potenciales de estos últimos deben cumplir varios criterios:

- sus necesidades deben ser adaptadas al recurso, es decir, que tienen necesidades importantes o por lo menos significativas, en el rango de temperaturas estudiado y tratado;
- se necesita, tras la adaptación con un costo no prohibitivo, que una parte sustancial de la energía tradicional consumida (petróleo, gas, carbón, electricidad,) pueda ser sustituida por la energía geotérmica. Si la parte de energía sustituible es demasiado baja, el usuario final no se interesará a realizar las inversiones, con un impacto muy marginal sobre sus costes operativos y entonces poco justificadas en términos de opciones estratégicas y económicas;
- el uso final de calor necesita ser concentrado en un área pequeña y a proximidad del pozo de producción de manera que la pérdida de calor a lo largo de la red sea tan baja como posible y la red de

distribución sea tan corta como posible y por lo tanto la más barata posible. Una red corta es también más fácil de manejar y mantener.

Como parte de este estudio técnico y económico, de acuerdo con el BRGM, y teniendo en cuenta las condiciones de acceso al recurso geotérmico y sus características esperadas y / o el contexto económico en el que se ubica, hemos concentrado nuestra investigación en 5 áreas principales de interés:

- Canoa
- Constanza
- Magueyal
- Guayabal
- San José de las Matas

Tras el estudio geológico y geoquímico del BRGM, cabe señalar que varias características importantes de los diferentes recursos geotérmicos son todavía desconocidas o poco claras, y requieren investigaciones adicionales. Estas incluyen la profundidad del techo del depósito geotérmico ("caprock") y el volumen, incluso aproximado, de este último (por ejemplo, en Guayabal, la profundidad del reservorio está estimada entre 500 m y 2 km). Se requiere que estos dos parámetros (además de la composición exacta del fluido geotérmico en profundidad) sean bien caracterizados para evaluar completamente la viabilidad técnica y económica de un proyecto geotérmico. Con respecto al "caprock" del reservorio geotérmico, su caracterización definirá la longitud y la posición final de la perforación en profundidad necesaria para la explotación del fluido (ahora bien, el costo general de la perforación puede ser extremadamente variable en función de la profundidad y influencia de manera significativa la viabilidad financiera de un proyecto). Finalmente, el volumen estimado del reservorio geotérmico definirá si la operación se puede hacer de forma sostenible a lo largo de 10, 15 o 20 años, tras estimar de manera más realista la cantidad de calor realmente disponible en profundidad (un reservorio geotérmico demasiado pequeño, por lo general, no justifica los costes elevados de inversión necesarios para el desarrollo de un proyecto). Por último, las características geoquímicas del fluido geotérmico en profundidad tienen importantes consecuencias sobre el modo de gestión de la planta y del equipo geotérmico necesario en la bucle geotérmica en profundidad y superficie (tuberías, intercambiadores de calor, pozos de producción y reinyección, etc ...).

2 SITUACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

Para comprender mejor las condiciones de viabilidad y el impacto de una operación geotérmica en la República Dominicana, es necesario recordar las principales características de la situación energética del país. Nos basamos principalmente en los datos de la CNE que figuran en el documento IRENA REmap 2030 de noviembre de 2016 (cifras de 2014) y las cifras de 2016 disponible por el CNE.

La República Dominicana es una de las economías más grandes y las más diversas en el Caribe y su demanda de energía continúa creciendo, en línea con el crecimiento medio del PIB de 4,8% entre 2007 y 2014. En 2015 y 2016 el PIB de la Republica Dominicana creció de 7% y 6,3%, respectivamente. Sin embargo, sigue siendo muy dependiente de las importaciones de combustibles fósiles (> 90%) para la producción de energía primaria que alcanzó 344 PJ (8219 ktep) en 2014.

La matriz de la demanda final de energía de la República Dominicana muestra que el 76% de las necesidades están cubiertas por los usos directos de los recursos para el calor, la cocina y el transporte y el 24% por la electricidad. Con respecto a los usos directos, 81% de las necesidades se cumplen por los combustibles fósiles (carbon, petróleo y gas), 18% por la biomasa (más de la mitad por el uso tradicional de leña) y

aproximadamente 1% por térmico solar. En cuanto a la electricidad, el 88% de las necesidades se satisfacen por los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) y menos del 12% por energías renovables: hidroeléctrica, eólica terrestre, biomasa y fotovoltaica.

Casi el 90% de las necesidades de energía final se cumplen por los combustibles fósiles que permanecen mayoritariamente importado (50 millones de barriles de petróleo al año). Esta dependencia externa induce que la República Dominicana sea muy sensible a las fluctuaciones del precio del petróleo en el mercado internacional y esto pese sobre la competitividad del país. Las tasas de crecimiento de 2015 y 2016 en el país están claramente vinculadas a la caída dramática de los precios del petróleo desde 2014. Por lo tanto, se estima que la disminución de los precios del petróleo en 2015-2016 ayudó al país a ahorrar 1,1 mil millones de USD al año. Se estima que cada incremento de un dólar en el barril de crudo de petróleo aumenta la factura petrolera anual del país de \$ 60 millones. Un incremento de \$ 10 por barril de petróleo está costando 600 millones de dólares al año a los consumidores dominicanos. Esta cifra se pone en perspectiva con el PIB de la República Dominicana, que alcanzó 71,5 mil millones de dólares en 2016.

El gobierno dominicano puso en marcha en 2015 un plan importante para abrir la exploración de petróleo a empresas extranjeras en las aguas poco profundas de la isla, pero relativo a estos proyectos aún faltan varios años para llegar a una producción nacional significativa. En lo que se refiere a la generación eléctrica, la Ley 57-07 indica que las energías renovables deben alcanzar un 25% en la matriz final en 2025 (frente al 12% en 2014), tomando en cuenta que la demanda del país en energía aumentara de 2,2% cada año hasta 2030. En el campo de las energías renovables, las principales fuentes que se consideran son la eólica terrestre, la energía fotovoltaica y la bioenergía (recuperación de gas en vertederos, el uso de bagazo y el desarrollo del biogás). En esta etapa, y en relación con el potencial geotérmico del país relativamente desconocido, no hay una política específica respecto a esta energía. Eso es también el caso de una serie de energías renovables (excluido en el sector de la electricidad) que son las bio-energías para el sector industrial (que, sin embargo, cubre el 27% de la energía directa utiliza en la industria) o el uso doméstico (par cocinar, la producción de agua caliente) que cubre casi el 50% de las necesidades del sector. Sin embargo, en estas dos áreas en particular, la energía geotérmica (de media o baja entalpia) podría cubrir potencialmente parte de las necesidades (como en muchos otros países).

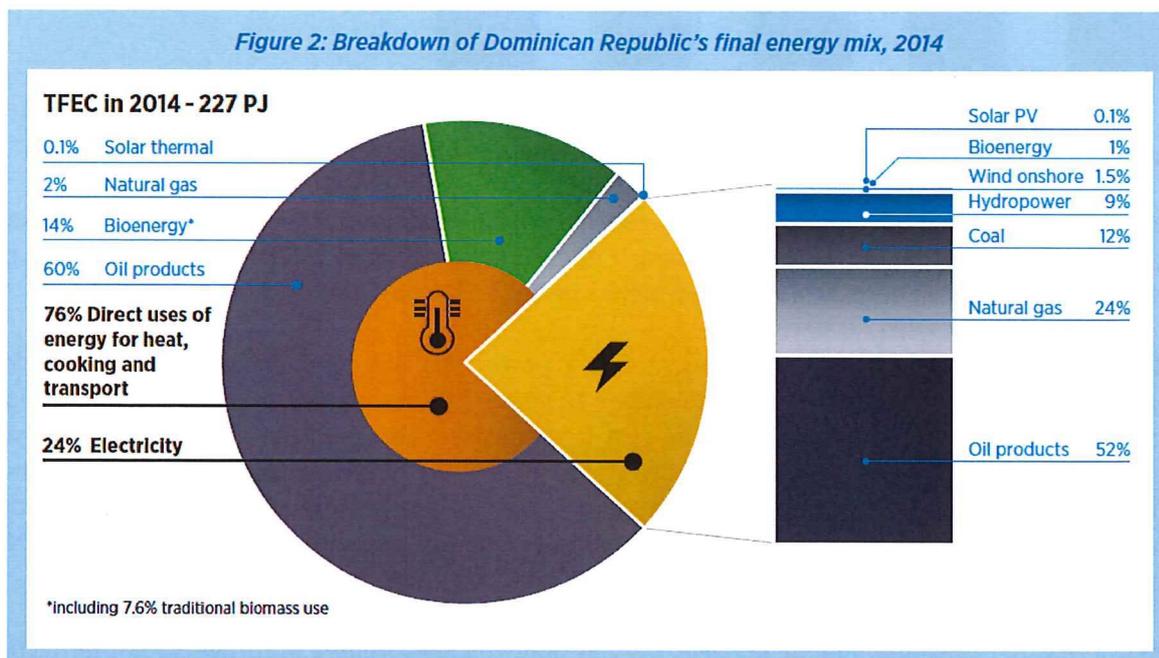


Ilustración 1 : Matriz energética de la demanda final de energía en República Dominicana en 2014

3 EL CONSUMO DE ENERGIA FINAL POR SECTORES

La demanda de energía final total de la República Dominicana se ha incrementado en un 1% cada año entre 2000 y 2014 para llegar a 5.327 ktep en el año 2015. El crecimiento fue notable en el campo de la industria, el comercio y los servicios (con el crecimiento de la demanda promedio de 3% por año) mientras que la demanda en el sector residencial ha crecido en aproximadamente un 1% y que el transporte se mantuvo estable. Como se mencionó en el párrafo anterior, se espera que esta demanda aumente de un promedio de 2,2% en cada año hasta 2030.

Consumo de Energía Final por Sectores de Consumo (expresado en kTep)

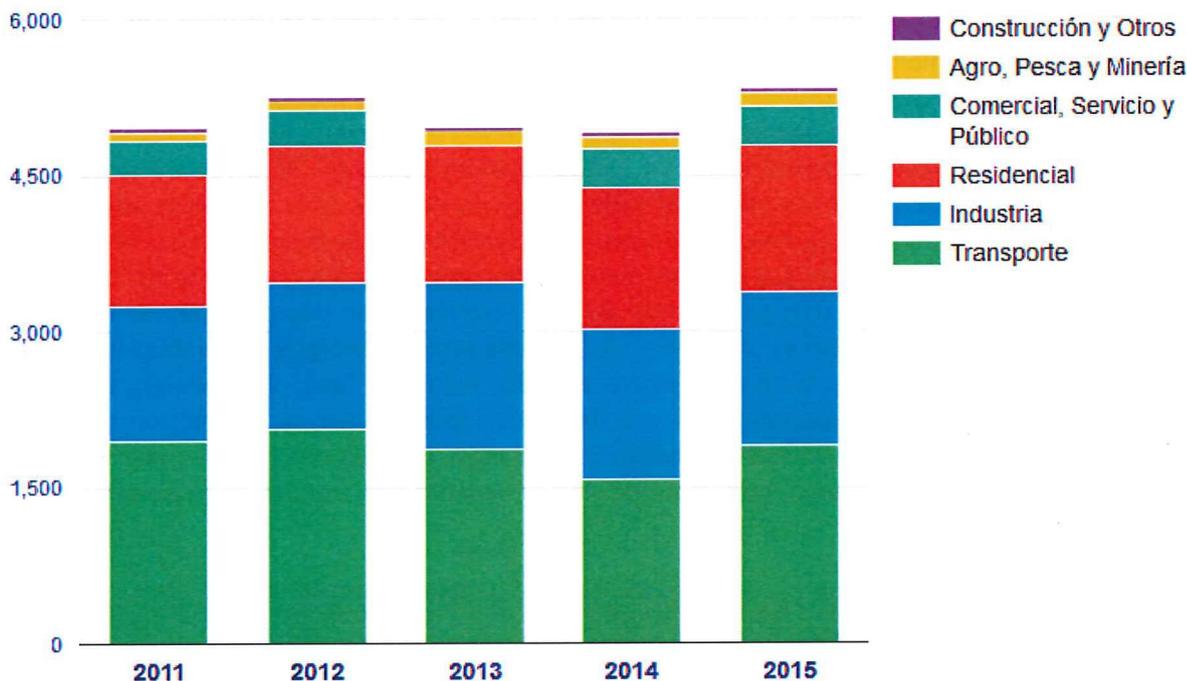


Ilustración 2 : Distribución del consumo de energía final por sectores de consumo (2011-2015)

En 2015, el 35% de la demanda final de energía fue absorbida por el transporte, el 27% por el sector residencial, 28% por la industria, un 7% por el comercio (incluidos los servicios y el sector público), y un poco más de 2% por la agricultura, la pesca y la minería y menos de 1% en la construcción y otras actividades.

La demanda de energía final varía significativamente de acuerdo a la ubicación en la isla. Por ejemplo, el consumo per cápita de la zona turística de Punta Cana es 10 veces mas importante que el promedio nacional. En comparación con otras zonas aisladas del país, esta diferencia es aún importante. También el consumo entre la electricidad y el uso directo varía significativamente en función de los sectores. La industria tiene un 38% de sus necesidades de electricidad, frente a menos del 1% en el transporte. En el sector de la construcción, el residencial deriva el 30% de sus necesidades de electricidad, pero esta cifra se eleva al 80% en tiendas y servicios.

Dada esta estructura del consumo final de energía, las vías de investigación para un proyecto geotérmico son muy variadas, a excepción de la producción de electricidad. De hecho, sabemos que la calidad de los recursos

geotérmicos de la República Dominicana (< 100°C) no permiten en cualquier caso, examinar la generación de electricidad por el uso de una turbina de vapor. Sin embargo, los avances recientes en ciclos termodinámicos (tipo ORC), permiten considerar proyectos de pequeño tamaño, en contextos muy particulares (véanse las explicaciones más adelante).

Sin embargo, el uso directo de calor geotérmico se puede considerar en diferentes sectores de la República Dominicana:

- El sector agrícola, predominante en la economía, especialmente vis-à-vis la balanza comercial.
- La industria, un sector en plena expansión, incluido en las zonas francas del país.
- El sector residencial (excluida la construcción), comercial o de turismo y relacionados.

4 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS VISITADAS Y LA DEMANDA LOCAL EXISTENTE DE ENERGÍA

Basado en los datos geocientíficos preliminares obtenidos por el BRGM en las diferentes áreas de interés geotérmico (áreas donde las temperaturas de los recursos geotérmicos son a priori superiores), se seleccionaron cinco áreas de interés para visitas de campo en el marco del estudio técnico-económico: Canoa (Surza Japonesa) Guayabal (fuente La Tina), Magueyal, Constanza (fuente los Bambuses, Valle Nuevo) y San José de las Matas (Aguas Calientes). Para cada una de estas áreas, se analizarán las condiciones de acceso a los recursos geotérmicos (carreteras, red eléctrica, las condiciones locales de terreno), la demanda local de energía, y la economía de la zona.

4.1 La zona de Canoa

En Canoa, hay dos áreas de descarga de aguas calientes: una esta construida (Surza Japonesa), la otra no (Punto GPS No. 99 0270554/2032270). El camino de acceso a las fuentes (alrededor de 2,3 km de la carretera principal) es relativamente amplio, pero hecho de tierra y, a veces en mal estado. La zona que rodea la fuente es relativamente seca, pero tiene la ventaja de ser totalmente horizontal (sin pendiente significativa). La línea eléctrica principal está a unos 3 km. A proximidad, el pueblo de Canoa no presenta una demanda de energía en particular (no tiene plantas de procesamiento, ninguna fábrica, ninguna industria). Se trata de viviendas de tipo individual y también tiene una escuela (Cruz Roja). Los principales cultivos de la zona son el plátano, caña de azúcar y coco. Aparte de la caña de azúcar que se transporta por ferrocarril a Barahona (véase más adelante), nada se procesa localmente. Plátano y coco están enviados por carga fresca a Santo Domingo. Hubo una actividad de cultivo de arroz que desapareció unos 20 años atrás debido a la falta de riego.

La principal zona urbana de la región es la ciudad de Barahona, situada a unos 18 km de las fuentes. Es sobre todo una ciudad azucarera y también tiene una actividad turística. Hay varios hoteles de dimensiones relativamente pequeñas situados al borde del mar y al sur de la ciudad. La ciudad también tiene un aeropuerto local, que se encuentra al norte de la ciudad.

Hay 3 fábricas principales en Baharona.

-La empresa Khoury de fabricación de bloques de hormigón es la mas grande de la región (contacto: Francisco Ferreras, Gerente de Producción). La planta produce alrededor de 600.000 bloques al año. Su fuente de alimentación principal es la red eléctrica (pero también utiliza un grupo eléctrico de 500 kVA diesel) para el transporte de agregados, trituración del hormigón y el moldeo de bloques. Después del moldeo, los bloques se

colocan en un almacén para secado a una temperatura de 40-44 ° C en una atmósfera húmeda. Para esto, la compañía utiliza una caldera de gas que consume alrededor de 400 m³ de gas natural por año. La empresa muestra interés por la energía geotérmica si se le permitió reducir sus costos de compra de gas. El consumo de 400 m³ de gas natural representa una demanda energética bastante baja de 4 MWh al año. En comparación, se recuerda aquí que en la región de París, un “doublet” geotérmico típico (con temperaturas de los recursos parecidas a los de la República Dominicana) proporciona aproximadamente 70 000 MWh al año.

-La planta de producción de azúcar de Barahona (Consortio Azucarero Central). Aquí se dirige una gran parte de la cosecha de la caña de la región con un objetivo de 525.000 toneladas de caña molida y 54.000 toneladas de azúcar producidas en una temporada de cosecha. Dejamos un cuestionario sobre las necesidades energéticas de la planta al director de la Gerencia. Pero estamos hoy sin respuesta. Cabe señalar que esta planta utiliza el bagazo de caña como una fuente significativa de su energía.

-Una planta de envase de agua y producción de hielo (Agua Everest). Dejamos un cuestionario sobre las necesidades energéticas al gerente de producción de la planta, pero quedamos hoy sin respuesta.

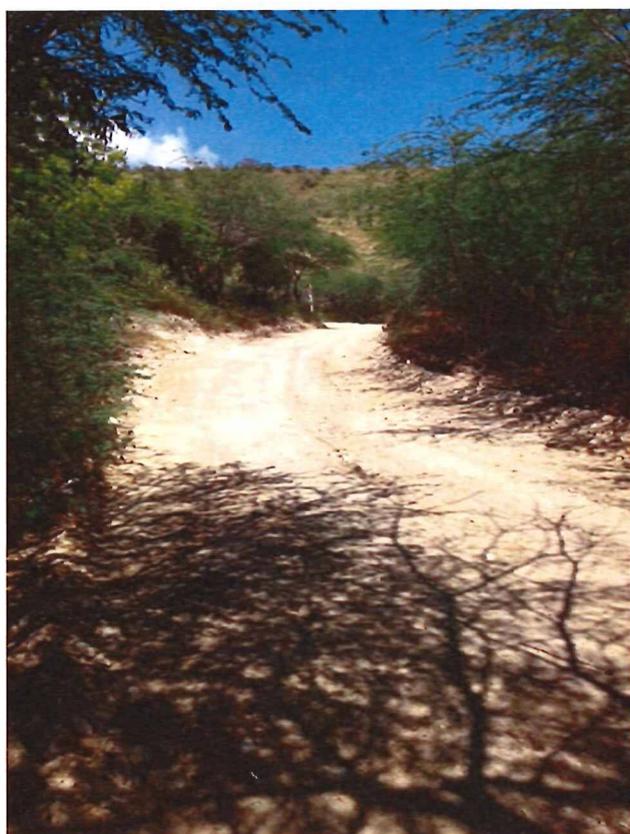


Ilustración 3 : Carretera de acceso (izquierda) a las fuentes termales de Canoa (derecha)

4.2 La zona de Guayabal (Fuente la Tina)

Hay cuatro emergencias de fuentes en la zona de interés geotérmico de Guayabal. La carretera de acceso al pueblo de Guayabal es relativamente amplia y está en buenas condiciones (habiendo sido restaurada hace relativamente poco tiempo). En la carretera de acceso al pueblo, hay algunos pequeños invernaderos que producen principalmente aji monroe, sin necesidad de utilizar un método de calentamiento otro que el sol. En el pueblo de Guayabal, que se debe de cruzar para llegar a la fuente de Tina, las calles son relativamente estrechas. Por último, en la parte alta del pueblo, el camino para acceder a la fuente de Tina debe de cruzar un

vado y quedan unos 9 km de camino de tierra en muy mal estado y con fuertes pendientes para llegar a la fuente termal.

Las emergencias de la fuente brotan de un conglomerado recién del río Guayabal en un área relativamente horizontal. El acceso a la red eléctrica más cercana se encuentra a unos 7 km de distancia. El pueblo de Guayabal no presenta una demanda de energía en particular (no tiene planta de procesamiento, ninguna fábrica, ninguna industria). Tiene un tipo de vivienda individual rural. Los principales cultivos de la zona son el aguacate, el café, limones y habichuelas. Ninguno de estos productos se procesa localmente. Todo está enviado en carga fresca a Santo Domingo. El café se seca parcialmente localmente de manera tradicional (café verde), al sol, directamente sobre el suelo o en plataformas de cemento.

Se puede tomar en cuenta que un poco más abajo (en la entrada de Padre las Casas, pero a muy grande distancia de la fuente de la Tina > 16 km), hay un antigua procesadora de café y arroz (principalmente de café), PANIAGUA, pero no fue reconstruida después de su destrucción por el fuego.



Ilustración 4 : Carretera de acceso (izquierda) a la fuente de la Tina y los invernaderos en la zona de Guayabal (derecha)

4.3 La zona de Magueyal

El pueblo de Magueyal está situado en una ruta principal; es amplia y está en muy buen estado. El inicio del camino hacia la fuente se encuentra en frente de la central hidroeléctrica y sigue su canal de descarga. Es un camino de tierra relativamente amplio y está en buenas condiciones (antiguo acceso a una cantera de mármol, hoy abandonada). Para acceder a la fuente, se tiene que cruzar dos veces el río Yaque sin que haya un puente (Pto GPS 11 0289398/2055924), y continuar aproximadamente 1 km a lo largo de un camino en mal estado. Situado en una ruptura de pendiente en la margen derecha del valle, el área que rodea la fuente termal sigue siendo relativamente plana (sin pendiente significativa). La línea eléctrica principal esta aproximadamente a 1,5 kilómetros.

En Magueyal, los principales cultivos son el plátano, el guineo, la papa, el yuca y ají. Todos estos productos están enviados en carga fresca a Santo Domingo. Hubo cultivo de arroz durante muchos años atrás en Magueyal pero se terminó, debido a la falta de derechos de riego. No hay fábrica local en el pueblo, y tampoco procesamiento local de productos agrícolas.

La zona de cultivo de arroz comienza un poco más hacia el noroeste, a unos 10 kilómetros de Magueyal. Existen varias procesadoras de arroz pero se encuentran por lo menos a 15 kilómetros de la fuente termal de Magueyal.



Ilustración 5 : El camino de acceso a la fuente de Magueyal pasando por el río Yaque

4.4 La zona de Constanza (Los Bambuses y Valle Nuevo)

Situada a 1170 m de altura, Constanza se alcanza por una carretera en condiciones relativamente buenas, pero con muchas curvas. Debido a las estrechas calles, cruzar Constanza puede ser difícil. La región de Constanza es una importante zona agrícola cuya altitud permite el cultivo de productos más típicos de las regiones templadas (imposibles en altitudes más bajas). Los cultivos se hacen al aire libre o en invernaderos (no climatizados, sino simplemente iluminados por la noche, a pesar de las temperaturas negativas que pueden afectar a la zona de Constanza). Los principales cultivos de la zona son las fresas, flores (rosas), papá, ají, cebolla, ajo y zanahoria. La fresa se procesa localmente en mermelada, pero de manera artesanal (no hay grandes empresas de transformación). Las flores se colocan directamente en contenedores refrigerados montados sobre camiones (sin almacenamiento local). Parte de los otros productos (zanahoria, ajo, ciruela seca, papas) se almacena en los locales fríos (cerca de 0°C) de la empresa ALFRIMDOSA (ver abajo). Constanza es también conocida por el turismo de montaña y el ecoturismo con varias áreas de interés: cascada de Agua Blanca, la peregrinación del Divino Niño y la Piedra de los Indios (rocas grabadas por los Tainos, asociadas con una cueva). También es un área importante para las actividades de parapente y mountain-bike. Turistas (sobre todo locales) se quedan a dormir en Constanza en varios hoteles (de tipo familiar) y visitan la región a partir de Constanza, especialmente en el Valle Nuevo (Parque Nacional). La gran mayoría de la producción agrícola de Constanza se lleva en carga fresca a Santiago.

Sin embargo, hay una planta de procesamiento en Constanza: Constanza Fabrica que, lamentablemente, no hemos podido visitar (Punto GPS 122 - 0318966/2091746). Se produce el Sazón Constanza, una mezcla de ajo y cebolla usado como condimento para la comida. Asociada con la planta en Constanza, hay una empresa de almacenes fríos para el almacenamiento a corto o medio plazo (semanas a meses) de los productos agrícolas locales, incluyendo la zanahoria, ajo, ciruela seca, papas (Almacenes Frigoríficos Dominicanos - ALFRIDOMSA). La conservación se hace entre 0 y 3-4 ° C. Desafortunadamente, no tuvimos acceso a la empresa, pero se puede deducir, a partir de los grupos de frío externos visibles en la fachada, que se utiliza la electricidad como fuente de energía primaria.

También hay 3 plantas envasadoras de agua en Constanza, la principal siendo Agua Tome (Pto GPS 120 - 0316091/2091393 27 de Febrero Esq Rufino +809 539 2111.). No hemos podido visitar ninguna de ellas.

Hay 2 áreas de interés geotérmico pero no se encuentran en Constanza- mismo, sino en zonas relativamente remotas (a 9 y 12 km de Constanza).

El primero está situado en el Valle Nuevo (ex-pozo Electroconsult). El camino de acceso desde Constanza a Valle Nuevo es estrecho y está en mal estado en la parte que atraviesa las áreas pobladas alrededor de la ciudad de Constanza. En el Valle Nuevo, es un poco más amplio, pero hecho de tierra y está en mal estado. Los principales cultivos del Valle Nuevo son la papa y la zanahoria. Hay algunos invernaderos, simplemente iluminados por la noche. El ex-pozo ELC está aislado en el centro de Valle Nuevo cerca de una granja donde no existe red eléctrica (el último kilómetro de acceso es un camino de tierra en mal estado). Por otra parte, existe un conflicto de más de 30 años entre el Gobierno de República Dominicana y los agricultores locales para impedir cualquier actividad agrícola en el Valle Nuevo (donde los cultivos principales son las zanahorias y patatas). Hay pocas posibilidades de que se realice un proyecto de geotermia en esta área: la infraestructura que debería ser creada sería un soplo de aire fresco para nuevos asentamientos ilegales (incluyendo caminos abiertos en un área natural). Así el ex-pozo ELC se encuentra a 4 km de la principal zona poblada de Valle Nuevo y 9 km de Constanza. El acceso más cercano a la red eléctrica es de aproximadamente 4 kilómetros hacia el Valle Nuevo.

La segunda área de interés geotérmico se encuentra al oeste de Constanza, en un lugar llamado Los Bambuses. El acceso se hace por el oeste de la ciudad de Constanza por un camino de tierra en condiciones medianas, pero relativamente amplio (Pto GPS 118 0314051/2092877) y termina en el vado de un río (Pto GPS 116 0313447/2093288). Luego, se tiene que seguir un camino de tierra de unos 20 km, en mal estado y sinuoso y luego tomar un camino a pie o a caballo, cruzando el río 2 veces seguidas para llegar a la fuente. En la aldea más cercana, no hay electricidad: las casas locales tienen paneles solares que permiten obtener una potencia suficiente únicamente para la luz. En esta área, se cultiva principalmente papas, habichuelas y auyamas (tipo de calabazas). La fuente está situada a 12 km de Constanza y del acceso más cercano a la red eléctrica. Por otra parte, el área de descarga de la fuente termal no es muy accesible; se encuentra en una zona escarpada de la montaña entre el camino y el río.

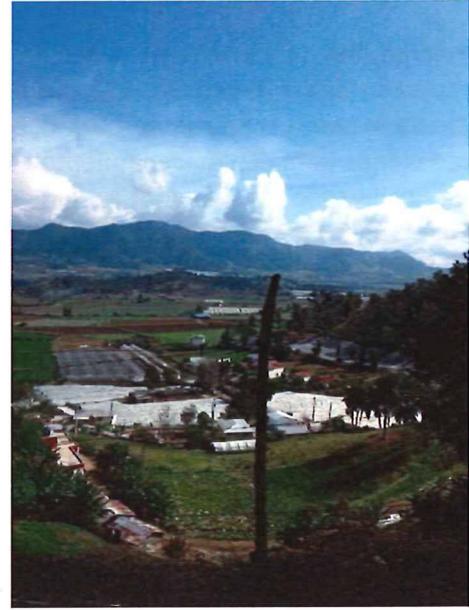


Ilustración 6 : Almanecenes Frigoríficos Dominicanos – ALFRIDOMSA (izquierda) y invernaderos (derecha) en la zona de Constanza

4.5 La zona de San José de las Matas (Aguas Calientes)

En la zona de San José de las Matas, el área geotérmico de interés se encuentra cerca de las Termas de Aguas Calientes (Pto GPS 125 0300412/2128768). Hay varias emergencias en la margen derecha e izquierda del río Baío. Llegamos a la zona por una carretera de asfalto en buenas condiciones y relativamente amplia. Los baños de "Aguas Calientes" son privados y pertenecen a un propietario chileno. El sitio recibe alrededor de 2000 personas al mes (incluyendo 500 extranjeros). La tarifa de entrada es de 100 pesos (2 \$US). El sitio cuenta con 5 + 3 agentes permanentes y temporales, en los fines de semana y días festivos. La mayoría de los turistas llegan de Santo Domingo. Los baños se encuentran en un sitio protegido en el corazón de la selva a lo largo del Río Baío (los baños tienen vistas al río), lo que hace de estos baños un lugar excepcional. El centro utiliza una generadora de 5 kW (para las luces) que compensa las caídas de tensión debidas a la situación de los baños termales que se encuentran al final de la línea eléctrica.

Algunas fuentes termales brotan en los flancos derecho e izquierdo del río (cuales tienen una fuerte pendiente) pero al menos una de ellas se encuentra en una zona relativamente plana. El acceso a la red eléctrica (aunque en final de línea) está cerca (a unos cientos de metros).

Los principales cultivos locales son el café, limón, aguacate, la ganadería y la producción de leche. Excepto un poco de café (véase más adelante), todos estos productos son enviados a Santiago en carga fresca. En particular, la leche se procesa en una planta de pasteurización de gran tamaño en Santiago.

No hay una industria significativa o una fábrica importante en la zona, incluyendo San José de las Matas. Sin embargo, existe una procesadora de café cerca de Aguas Calientes: Asociación de caficultores unidos para el Progreso (Pt 127 GPS 0297937/2129678). Esta es una empresa fundada con ayuda financiera del gobierno y esta supervisada por el Ministerio de Agricultura, vinculada a una programa de integración de la juventud local: 22 jóvenes locales trabajan en la procesadora, especialmente para el ensacado de café. La compañía emplea a cuatro personas a tiempo completo, más 3 personas en temporada alta (septiembre a diciembre y

finales de marzo a finales de mayo). La planta desarrolla una marca de café orgánico (Sabaneta), pero también produce otros tipos de café.

El café (7 000 quintales de café verde recibidos en el año) proviene de toda la región y se seca en la procesadora en los túneles bajo el sol. A continuación, se envía por camión a Santiago para tostarlo. Luego, vuelve a San José de las Matas para ser molido y ser ensacado. Parte del valor añadido se pierde en la ida y vuelta a Santiago, y otra parte en el proceso de secado que normalmente tarda de 5 a 6 días si el sol es bueno, pero que puede durar de 10 a 12 días en caso de ausencia de sol. El secado artesanal puede alterar significativamente la calidad del café, ya que la presencia de sólo un grano de café podrido puede alterar el sabor de todo el lote secado. La producción local total de café es de 20.000 quintales y, fuera de la cantidad que se procesa en Sabaneta, toda la producción local se envía a Santiago para el secado, tostado y embolsado. Para su funcionamiento, la procesadora de café "Sabaneta" utiliza un generador eléctrico diesel de 600 kVA, que consume alrededor de 125 galones de diesel al mes, lo cual representa un presupuesto de RD \$ 40.000 promedio mensual también (sin subsidios). La procesadora tiene solamente 1 año y medio y se prevé que su producción de café aumente significativamente en los próximos años.

Por último, cabe señalar que la empresa Sabaneta se encuentra a unos 2,5 km de las fuentes de Aguas Calientes.



Ilustración 7 : Proceso de secado artesanal de café en la procesadora La Sabaneta (izquierda) y las fuentes de las Termas de Aguas Calientes (derecha) en San José de las Matas

5 EL SECTOR ELÉCTRICO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

Directamente relacionado con el crecimiento significativo de la demanda de electricidad en la República Dominicana, el sector eléctrico está creciendo rápidamente en el país. Su estructura actual (distribución, generación, etc ...) es el producto de las reformas iniciadas en los años 90 que permitieron un aumento significativo de la participación del sector privado. El Sistema Eléctrico Nacional Interconectado de la República Dominicana (o SENI) entrega el 87% de toda la electricidad consumida en el país. Su órgano de coordinación tiene la condición de Asociación Sin Fines de Lucro y es responsable de la planificación y coordinación de las

operaciones en el SENI. La red de transmisión eléctrica AV pertenece a una sola empresa pública (Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana o ETED). Tres empresas públicas distribuyen el 78% de toda la electricidad consumida con concesiones en tres zonas geográficas distintas (Edenorte y Edesur y EdeEste). Siete empresas más pequeñas (y privada) producen y distribuyen electricidad en las zonas no interconectadas, en el extremo oriental de la isla (Yuma) y cerca de la frontera con Haití (Los Pinos, Pedernales).

La red eléctrica dominicana sufre altas pérdidas (del orden de 22% de la producción bruta en 2015), tanto en la transmisión y distribución. Aproximadamente el 10% de las pérdidas de electricidad está debido a plantas de producción, subestaciones y líneas de transmisión ineficientes (que están en gran parte debidas a la falta de inversión en relación con precios de venta regulados demasiado bajos según el regulador nacional). Estas pérdidas puramente técnicas amputan aproximadamente \$ 100 millones del volumen de negocios del sector. El otro 12% de las pérdidas ("no técnicas") esta directamente relacionado con el robo de la electricidad en la red y es un reto importante para el futuro del sector eléctrico dominicano cuya viabilidad a largo plazo queda incierta.

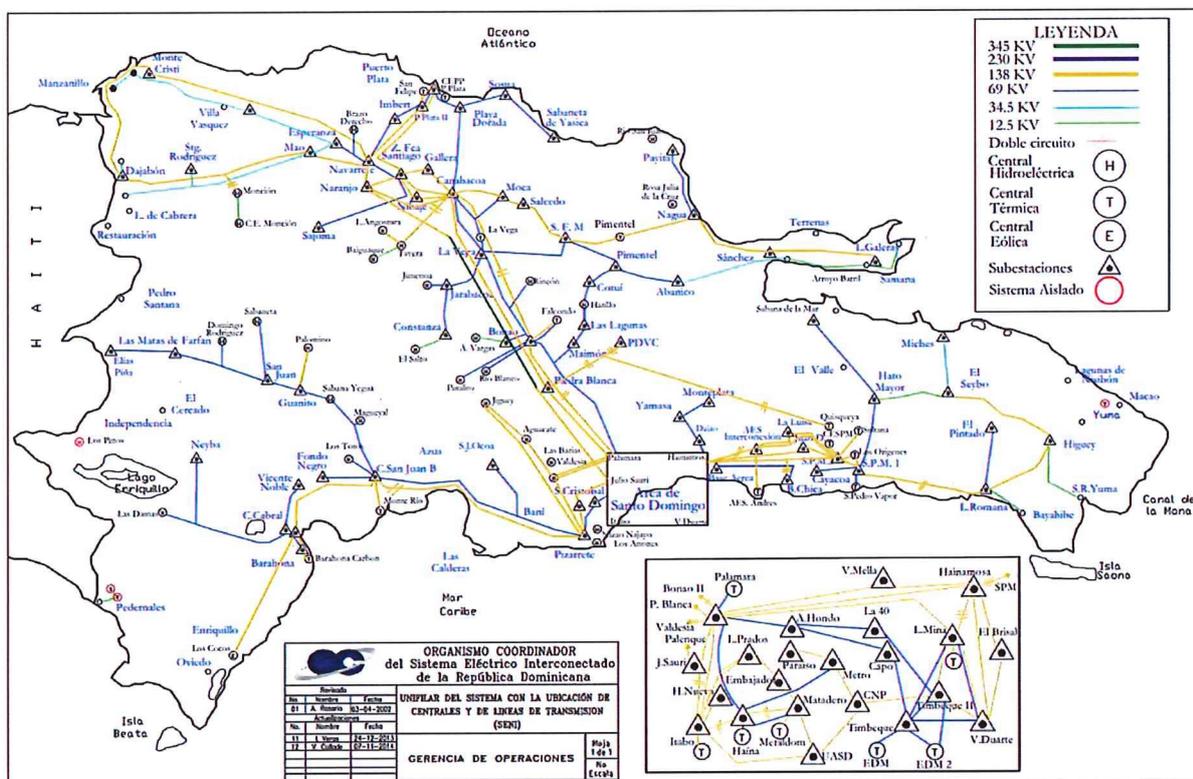


Ilustración 8 : Mapa del sistema eléctrico interconectado de la Republica Dominicana (Fuente: SENI)

La demanda nacional de electricidad ha aumentado rápidamente de 45% durante la última década. La producción bruta total de electricidad del país alcanzó 18 500 GWh en 2015 y la demanda final 15 550 GWh. Alrededor del 70% de la demanda final se refiere al sector residencial y la industria. El sector comercial y de los servicios públicos representa 23% de la demanda final y un 6% se va al transporte y la agricultura, la pesca y el transporte (principalmente el metro de Santo Domingo). En 2015, debido al aumento de la producción de las plantas de energía térmica (+ 8% entre 2014 y 2015) y la disminución concomitante en la producción de las plantas de energía hidroeléctrica (-25%) (principalmente debido a un déficit de humedad significativo ese año) parcialmente compensada por el aumento en la generación eólica, la proporción de energía renovables en la generación final se redujo a 8,3% (frente a un pico de 14,7% obtenido en 2013).

En 2016, la capacidad total instalada en el SENI fue de aproximadamente 3 250 MW y la disponibilidad real de los medios de producción podría bajar ocasionalmente a 2 600 MW, bordeando peligrosamente la demanda máxima de potencia en la red interconectada. También en el SENI, en 2016, menos de 12% de la energía fue generada a partir de fuentes renovables (hidro 9,5%, eólica 2% y solar FV 0,15%). El SENI dependía más del 88% de los recursos no renovables (petróleo, gas y carbón), que se importan casi exclusivamente. Además de las instalaciones hidroeléctricas (pequeñas y grandes), las instalaciones de energía renovables son limitadas en la República Dominicana. Los más importantes son los parques eólicos Larimar (50 MW) y Los Cocos I y II (25 y 52 MW instalados) y el parque fotovoltaico de Monte Plata Solar (30 MWp) y una planta de biomasa en San Pedro de Macorís (30 MW). Hasta la fecha, no hay ninguna planta geotermo-eléctrica en la República Dominicana.

En consonancia con la alta dependencia de las importaciones de productos petrolíferos, los precios de la electricidad han variado significativamente en República Dominicana a lo largo de los años. En 2014, por ejemplo, el WEF (World Economic Forum) indica que la República Dominicana tenía las tarifas eléctricas más altas en el mundo, sólo superadas por las de Italia (había en realidad solo 60 países cuyas tarifas eran en realidad conocidas). Así, en 2014, el kWh costaba en promedio 21 \$UScts a la industria dominicana. De 2009 a 2016, el precio medio de venta de la electricidad a los distribuidores por las empresas públicas de producción de electricidad ha variado desde 10,80 \$UScts en 2009 a 15.64 \$UScts en 2013 antes de caer a 11.95 \$UScts en 2016 (permaneciéndose en un nivel alto a pesar de la caída en la factura de petróleo). El precio de venta a los distribuidores no refleja el precio medio de venta al consumidor final (es en general mucho más alto). Por ejemplo, en marzo de 2015, con un precio medio de venta a los distribuidores de 12,5 US centavos, el precio de venta promedio al consumidor final fue de 17,5 US centavos. Por fin, el precio de venta incluye las subvenciones pagadas por el estado para la producción de electricidad, por lo que el precio real de la producción de electricidad es probablemente mayor.

	EDENORTE	EDESUR	EDEESTE	Promedio EDEs
Precio promedio Compra a generadores. (US\$ Cents/kWh)	13.6	13.3	10.8	12.5
Precio promedio Venta al consumidor. (US\$ Cents/kWh)	16.9	18.3	17	17.5

Ilustración 9 : Precios promedios de compra (por los distribuidores) y de venta (al consumidor final) en Marzo 2015

A nivel mundial, es útil recordar que la electricidad geotérmica es, en promedio, una de las fuentes de producción más competitivas en términos de costo unitario nivelado (incluyendo el hecho de que es una producción de base, disponible 24h al día). Los precios más bajos se encuentran especialmente con plantas de grandes potencias geotérmicas asociadas a los recursos de alta energía. Sin embargo, hemos visto antes que este tipo de recurso no existe en la República Dominicana y se ha demostrado en otras partes del mundo que la producción de electricidad a partir de recursos geotérmicos de baja entalpia (usando los ciclos ORC) se hace

generalmente con un coste más elevado. En general, en el intervalo de plantas de potencia pequeña (<10 MW), el costo unitario por kWh producido es mas alto para las plantas de potencia más baja porque el proyecto tiene que absorber el costo de las perforaciones geotérmicas que se queda generalmente constante (En todos casos, se necesitan por lo menos 2 pozos: uno de producción y uno de reinyección).

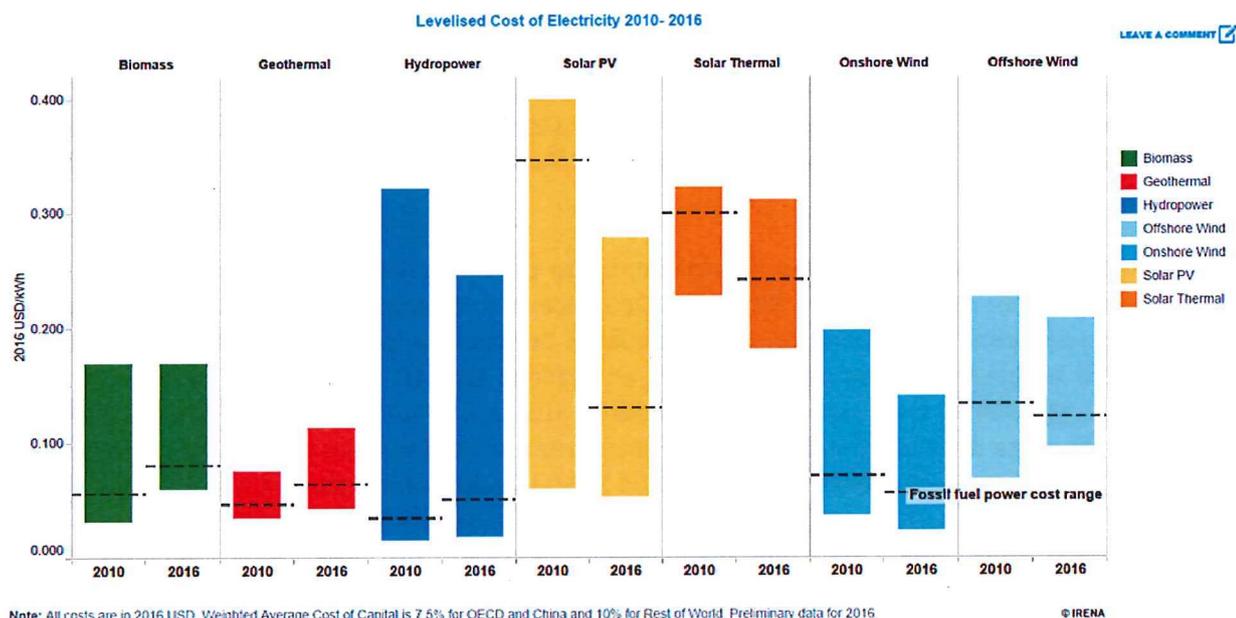


Ilustración 10 Evolución de los costes unitarios nivelados de la electricidad producida a partir de diferentes fuentes de energía entre 2010 y 2016 (Fuente: IRENA)

Sin embargo, puede haber casos específicos en que, a pesar del coste de producción por ORC ligeramente superior, la generación de energía geotérmica puede ser competitiva o interesante. Este es el caso por ejemplo en zonas remotas o no interconectadas donde:

- no existe una producción local de electricidad y la producción de una sola pequeña planta geotérmica evita el despliegue de una red de transporte de la electricidad demasiado cara, dado la baja demanda local. Ejemplo: la planta de Fang en Tailandia. Situada en una zona no interconectada de la región de Chiang Mai, la planta ORC de 300 kW proporciona desde 1989 alrededor de 1,2 millones de kWh por año a una red de distribución local. En la entrada del ORC, el fluido geotérmico tiene una temperatura de 115-120 ° C y se descarga a aproximadamente 80 °C. Se debe tener en cuenta que este campo geotérmico se caracteriza por sus recursos geotérmicos situados a poca profundidad, lo que ayudó a reducir significativamente los costes de perforación y lograr un proyecto económicamente viable.

- existen algunos medios de producción (por ejemplo, generadores Diesel) locales con muy altos OPEX relacionados con la compra y suministro de combustible (en particular en el contexto de altos precios del petróleo) que se muestran poco competitivos frente a la implementación de una pequeña planta de energía geotérmica (de un cierto umbral de potencia llamada). Ejemplo: la planta de Chena en Alaska (véa más adelante).

En la actualidad, hay varios fabricantes de módulos ORC (1-10 MW) ofreciendo máquinas termodinámicas que operan en rangos de temperatura teóricos de 90°C a 300°C (temperatura del fluido de entrada). Sin embargo, más la temperatura de entrada es baja, menos la eficiencia de la máquina es alta. Típicamente, para un rango

de temperatura de 90-100 ° C, la eficiencia de la máquina cae generalmente por debajo de 10% y los flujos de entrada en fluidos geotérmicos deben de ser muy altos (del orden de varios cientos de m³/h, lo que requiere pozos geotérmicos de gran diámetro). El coste promedio de este tipo de ORC se estima en \$US 2000-3000 / kW con precios disminuyendo drásticamente en los últimos años. En estas condiciones, en particular en el caso de la energía geotérmica, donde los costes de perforación son particularmente altos (alrededor de 4 a 5 millones de USD para un pozo en gran diámetro y 2000 m de profundidad), la viabilidad financiera del proyecto en su conjunto sigue siendo muy incierta.

A continuación, se presentan, por ejemplo, las características de funcionamiento de un módulo ORC (1 MW) de la empresa Aqylon operando con un recurso geotérmico a 100 °C. Los volúmenes de fluido geotérmico requeridos son particularmente altos (450 m³/h) y la eficiencia eléctrica es debajo de 7% en condiciones nominales de funcionamiento.

	Parameters	Unit	ORC Module ATM-1000L
Electrical performances	Gross electrical production (with nominal heat values), up to	kWe	1066
	Net electrical production (with nominal heat values), up to	kWe	1000
	Self consumption	%	6,19%
	Voltage - Frequency	V - Hz	400V - 50Hz 480V - 60Hz
	Electrical efficiency	%	6,77%
Hot circuit - Pressurized water	Thermal power requested for the hot circuit	kWth	15 750
	Inlet temperature on the hot circuit	°C	100
	Outlet temperature of the hot circuit	°C	70
	Water flow rate	kg/s	125
Cold circuit - cold water	Thermal power available on the cold circuit	kWth	14 600
	Inlet temperature on the cold circuit	°C	30
	Outlet temperature on the cold circuit	°C	40
	Water flow rate	kg/s	350

Ilustración 11 Características de funcionamiento de un ORC Aqylon ATM-10006L de 1 MW neto (Fuente: Empresa Aqylon)

Los ejemplos de generación de electricidad a partir de recursos geotérmicos de baja temperatura son poco numerosos. Esto está relacionado con la dificultad de encontrar fabricantes de ORC dispuestos a trabajar en proyectos de baja potencia (<1 MW), con recursos de baja temperatura. En Chena, Alaska, con recursos geotérmicos a 74 °C, sin embargo, existe una planta de producción de electricidad a partir de estos recursos geotérmicos. Todo el proyecto incluye 3 módulos ORC produciendo una potencia bruta de 730 kW y una potencia neta de 500 kW (teniendo en cuenta el consumo interno del ORC y los requisitos de refrigeración, incluyendo con aire, en ciertos momentos del invierno). Todo el proyecto ha costado alrededor de US\$ 2 millones (US\$ 5.000 / kW instalado), pero tiene una disponibilidad del 95%. Por otra parte, el coste de producción por KWh (a través de generadores diesel) estimado en 30 \$UScts en 2006 se redujo a 5 \$UScts en 2007, representando un ahorro de US\$ 550.000 ese año.

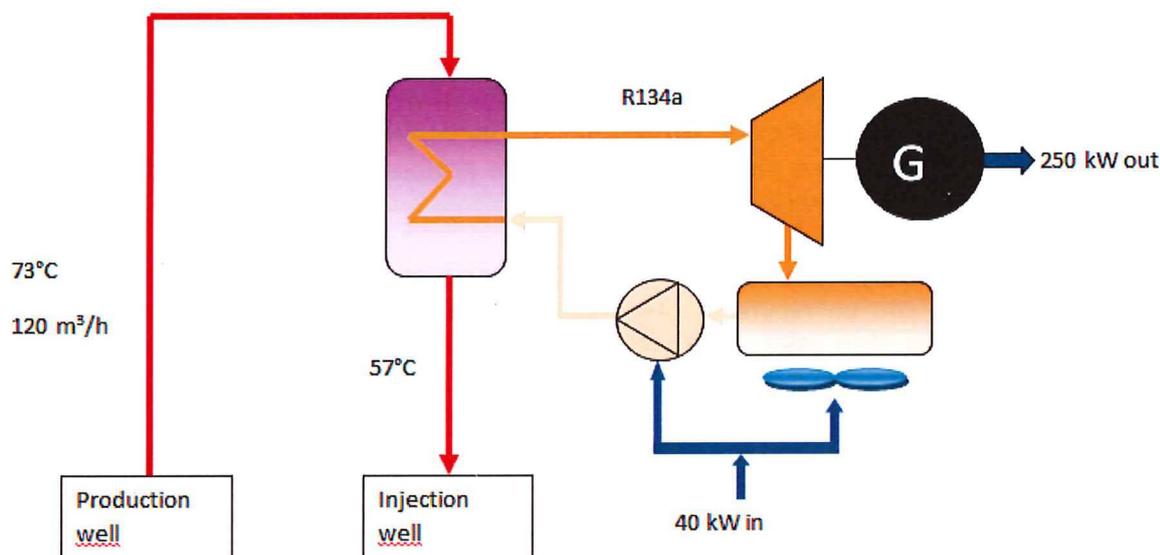


Ilustración 12 : Principio de funcionamiento general del primer módulo ORC de Chena (en realidad existen 3 módulos ORC en total)

Sin embargo, cabe señalar que el caso de Chena es muy especial en el sentido de que:

- 1) Los recursos geotérmicos son muy poco profundos (unos 200 metros de profundidad) y los costes de perforación de producción y reinyección fueron por lo tanto “anormalmente” reducidos.
- 2) La zona beneficia de una fuente de enfriamiento (agua o aire) continúa a 4 ° C en promedio durante todo el año, lo que resultó en una diferencia máxima de temperatura en el ciclo ORC y por lo tanto mejorando su eficiencia.
- 3) Los costes de infraestructura para la construcción de la planta eran muy bajos.
- 4) Fue un proyecto piloto y no parece que estos módulos ORC se vendan al día de hoy de manera usual.

Según nuestro análisis preliminar, algunos sitios estudiados como parte del estudio de los recursos geotérmicos en la República Dominicana podrían ser potencialmente adecuados para la producción de electricidad por ciclo ORC, pero para una potencia relativamente baja (<1 MW). Para ser financieramente viables, estos proyectos, sin embargo, deben cumplir con una serie de condiciones, incluyendo la presencia de recursos geotérmicos explotables poco profundos (<500 m) para limitar el coste de perforación y tener los costes de infraestructura (carreteras, electricidad) necesarios para el suministro de equipos de perforación y equipos de construcción de la planta más bajos posible.

Otra posibilidad a tener en cuenta es el uso de antiguos pozos de petróleo pasando a través de acuíferos geotérmicos. En esta etapa de las investigaciones, no hay suficiente información sobre los pozos de petróleo en el país para identificar los mejores candidatos en las cuencas de Azua, San Juan y Enriquillo. Las temperaturas medidas o extrapoladas en el fondo de algunos pozos indican temperaturas alrededor de 100 ° C (generalmente a lo largo de un gradiente geotérmico normal). Sin embargo, nada indica la presencia de recursos geotérmico en estas profundidades (incluyendo la presencia de acuíferos). Si, en el futuro, recursos

geotérmicos alrededor de 100 °C a 120 °C se pudieran demostrar con estos pozos, la producción de electricidad podría preverse mediante el uso de un ciclo ORC en condiciones económicas todavía a definir, pero con la gran ventaja de ahorrar costes de perforación. Una limitación importante es la factibilidad técnica de la conversión de estos pozos de petróleo en pozos geotérmicos, lo que requiere en todos los casos unos estudios de ingeniería de pozo y trabajos de reacondicionamiento.

Hay ejemplos de conversión de pozos de petróleo abandonados en pozos geotérmicos, particularmente en el suroeste de Francia, donde, después de las modificaciones necesarias, existe un pozo de aproximadamente 2.000 m de profundidad suministrando aproximadamente 150 m³/h de agua caliente a 74 °C para la acuicultura (producción de esturión y caviar) desde 1989.

En conclusión, dado los recursos geotérmicos existentes de la República Dominicana, la generación eléctrica de origen geotérmica (si resulta viable económicamente) sólo puede jugar un papel mínimo en la matriz eléctrica del país con algunos proyectos de baja potencia eléctrica (1 MW o menos).

6 EL SECTOR AGRÍCOLA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

La República Dominicana es un importante productor y exportador de azúcar, café, cacao y tabaco, pero los productos no tradicionales de exportación como el banano y otras frutas frescas o vegetales, han experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Los esfuerzos del Gobierno y del sector privado han ayudado a dinamizar de manera significativa el sector agrícola, con un crecimiento promedio de 7% anual en el período 2005-2006 en comparación con un promedio de 3% en los años anteriores. Mientras que el sector servicios ha reemplazado a la agricultura como el mayor proveedor de empleo (debido al importante crecimiento del turismo), la agricultura sigue estando en segundo lugar (detrás de la minería) en términos de los ingresos derivados de las exportaciones (principalmente debido a la importancia de sus exportaciones de azúcar). La proporción de la fuerza de trabajo en la agricultura bajó de 25% en 1990 a alrededor del 6% en 2015. El progreso experimentado por el país en materia de seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza aparecen ser debidos al alto crecimiento los ingresos del turismo en los últimos 25 años. Por otro lado, la participación de la agricultura en el PIB se redujo del 12% en los años 90 a alrededor de 6% en 2013.

Productos Agrícolas de la Republica Dominicana

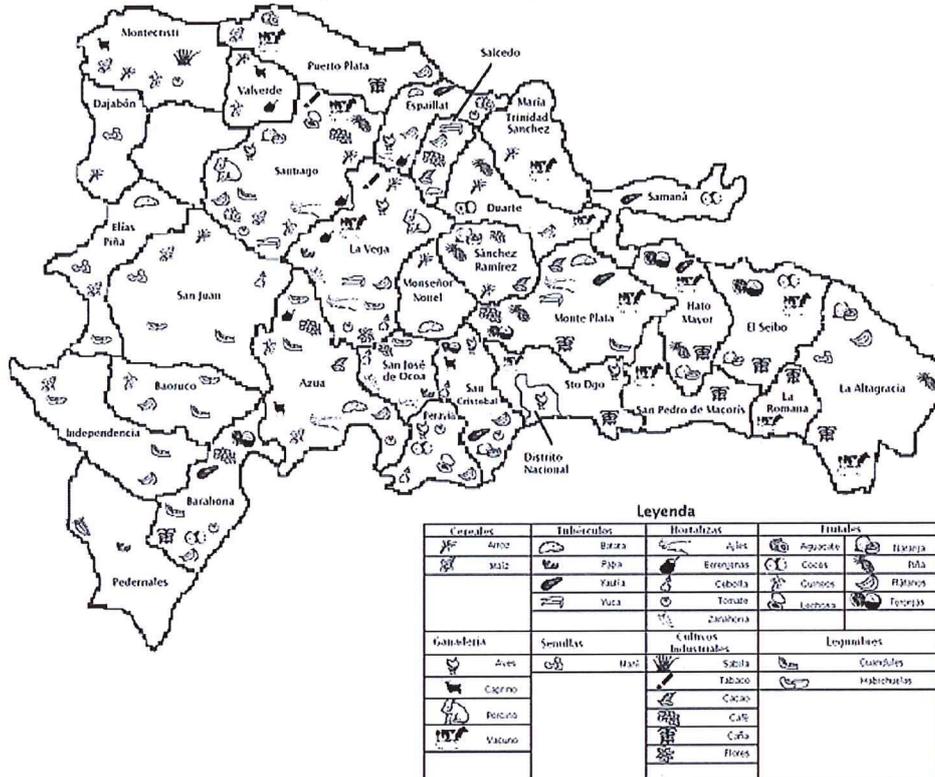


Ilustración 13 Mapa de distribución los productos agrícolas de la República Dominicana

El sector agrícola dominicano tiene ventajas competitivas en términos de sus recursos naturales y su ubicación geográfica, pero la productividad agrícola sigue siendo relativamente baja y el país aún sufre de una tecnificación insuficiente y de un acceso bajo a los mercados internacionales. Por lo tanto, la República Dominicana, a pesar de su estatus como el mayor productor agrícola en el Caribe, sigue siendo un importador neto de productos agrícolas.

En 2012, las tres principales producciones endógenas en términos de cantidad son la caña de azúcar, los plátanos y el arroz. En términos de valor producido, se trata del pollo, del ganado y de los plátanos. El mismo año, los tres principales productos importados en términos de cantidades son el maíz, el trigo y la harina de soja. En términos de valor importado, fue el maíz, el trigo y el aceite de soja.

También en 2012, los principales productos exportados en términos de cantidad son los plátanos, el azúcar crudo listo para el consumo y la melaza. En términos de valor de las exportaciones, se trata de los puros (cheeroots), del plátano y del azúcar crudo listo para el consumo.

La República Dominicana no produce trigo en su suelo y está totalmente dependiente de las importaciones que ascendieron a más de 540.000 toneladas en 2015, el país siendo uno de los mayores consumidores por habitantes de trigo y subproductos de trigo en el Caribe y América Latina. A cambio, el país tiene una gran industria de la molienda con las empresas Molinos Modernos y Molinos del Valle del Cibao que tratan casi el 80% de las importaciones de trigo.

La República Dominicana casi no produce maíz en su territorio, y sólo en el suroeste del país. Con una producción de 35 a 40.000 toneladas por año, la producción endógena representa sólo el 3% del consumo total. 75% de estas importaciones van a la producción de pollo (carne y huevos), 25% para la alimentación de

cerdos y 5% para el ganado. Hay que tener en cuenta que la producción dominicana de 1,2 mil millones de huevos por año y 190 millones de pollos forma una parte muy importante del consumo de carne de la población.

A continuación, se van a revisar los productos agrícolas que podrían teóricamente beneficiarse de la energía geotérmica en la República Dominicana en relación con las principales producciones del país y los invernaderos. El tema específico de la industria azucarera se trata en la parte "Industria" (vea más abajo)

6.1.1 El arroz

El arroz es uno de los productos agrícolas más importantes del país en vista de su impacto político, económico y social en la sociedad dominicana. Las estadísticas nacionales indican que existen alrededor de 30.500 productores de arroz en República Dominicana y 250000 personas involucradas en la producción, transformación y comercialización de arroz. Representa el 40% del PIB agrícola dominicano. Este es el producto más importante de la canasta de consumo básico. El consumo de arroz en el país ha llegado a 566.000 MT en promedio en los últimos años con fluctuaciones significativas en relación con la reciente sequía (el 99% de los cultivos de arroz son en regadío). Las importaciones y exportaciones (principalmente a Haití) de arroz son casi inexistentes en comparación de la producción total. El procesamiento del arroz requiere bajar el contenido de agua del arroz padi hasta el 14% por secado a 40-45 °C de temperatura máxima para evitar su agrietamiento. También se puede procesar al vapor de 115 °C a baja presión para mejorar sus cualidades de cocción. Las necesidades energéticas de estos dos procesos teóricamente pueden ser cubiertos por la energía geotérmica. En particular, existen secadoras geotérmicas para el arroz padi. Lamentablemente, hemos visto que las principales áreas de interés geotérmico no cultivan arroz (aunque existen procesadoras de arroz a sólo unos 15 kilómetros de distancia de Magueyal).

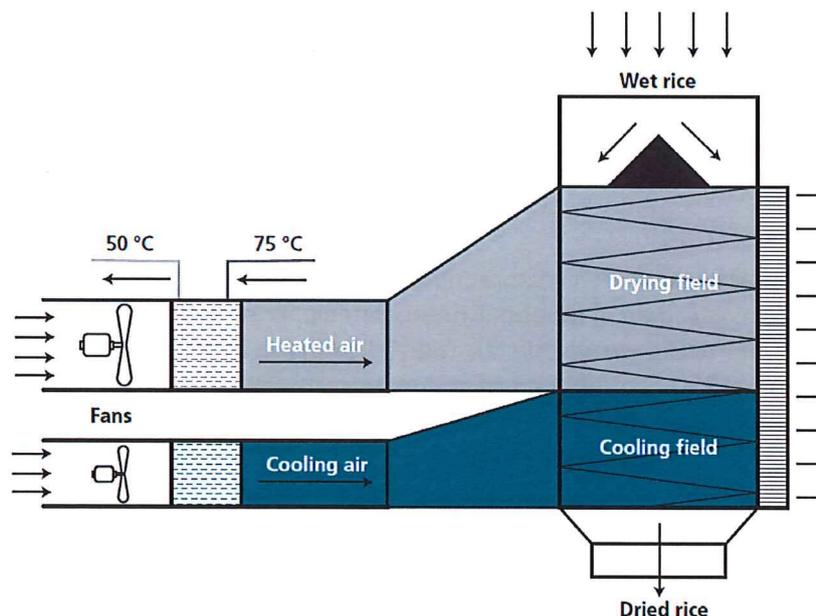


Ilustración 14 : Secadora de arroz padi usando geotermia de baja energía (Fuente, FAO, 2015)

6.1.2 El plátano

A pesar de ser un actor relativamente pequeño (en volumen) en el mercado mundial del plátano, la República Dominicana es el mayor productor de banano orgánico en el mundo (representa el 55% de la producción mundial). En 2015, alrededor de 240.000 MT de plátanos exportadas (150 millones de € en valor), más del 50% eran plátanos orgánicos, producidos por unos 1.000 cultivadores. 95% de estas exportaciones se dirigen a la Unión Europea donde la demanda de banano orgánico es fuerte. La producción de banano se concentra en las provincias noroccidentales de Valverde y Montecristi y provincias del sur de Azua y Barahona. No sabemos si existe una industria par el secado del plátano en República Dominicana pero también existen secadoras geotérmicas para todo tipo de frutas y legumbres. Esto puede representar una posibilidad de desarrollo en las zonas de interés geotérmico cultivando el plátano o legumbres, por el aumento del valor añadido de los productos exportados (además del envío de productos agrícolas frescos).

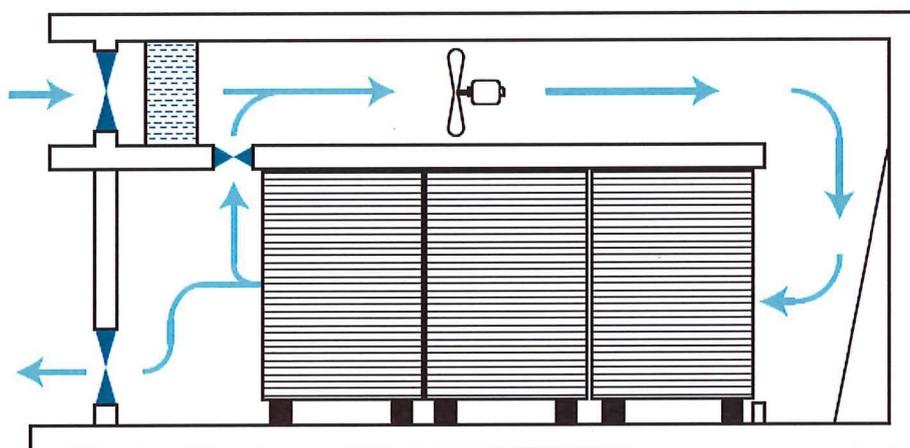


Ilustración 15 Secadora de frutas usando energía geotérmica (Fuente : FAO 2015)

6.1.3 El cacao

Con 1,8 millones de quintales de granos de cacao producidos en el año 2016, la República Dominicana es uno de los primeros productores de cacao en el mundo. Domina principalmente la producción de cacao orgánico lo cual representa sólo el 1% del cacao producido en todo el mundo. La República Dominicana es el mayor productor con una cuota de mercado del 60% en cacao orgánico, lo que representa una facturación de \$ 110 millones al año. Aunque los procesos de transformación del cacao (incluyendo el secado) pueden aprovecharse de la energía geotérmica, se ha visto por otra parte que las principales áreas de interés geotérmico no cultivan el cacao. De hecho, el cultivo de cacao es casi exclusivamente en el Nordeste (60% de la producción) y en el Este, a larga distancia de las zonas de interés geotérmico.

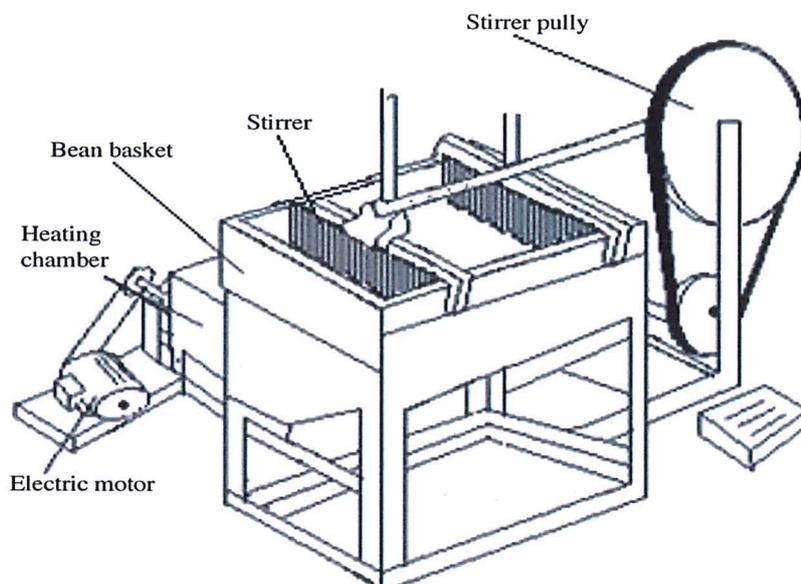


Ilustración 16 Ejemplo de secadora de cacao (potencialmente adaptable a la energía geotérmica).

6.1.4 El tabaco

La industria del tabaco tiene un gran impacto económico, social y turístico en la República Dominicana. La República Dominicana exporta 5 mil millones de unidades de cigarrillos anualmente a los mercados de Norteamérica y Europa; el tabaco constituye el principal renglón generador de divisas para el país con una cifra por encima de los 700 millones de dólares cada año. De esa industria viven alrededor de 350 mil personas en todo el territorio nacional. El primer paso en el proceso de preparación del tabaco para la producción industrial es el secado primario. La forma tradicional de hacer este secado es exponer el tabaco húmedo fresco a las condiciones naturales (radiación solar). Hoy día, se utilizan plantas modernas de secado con diferentes capacidades permitiendo la regulación de las condiciones de secado y mejorando la calidad del tabaco seco, de manera independiente frente a las condiciones climáticas cambiantes.

La temperatura máxima permitida del aire de secado es menor a 70°C, de tal manera que los recursos geotérmicos de baja temperatura pueden aplicarse. La mezcla de aire fresco y recirculado (después de filtración) se calienta en un intercambiador de calor geotérmico. Un ventilador descarga el aire caliente a través de la extremidad de la cámara. Parte del aire utilizado se descarga a través de una válvula de alivio de presión y la otra parte se recircula en el secador.

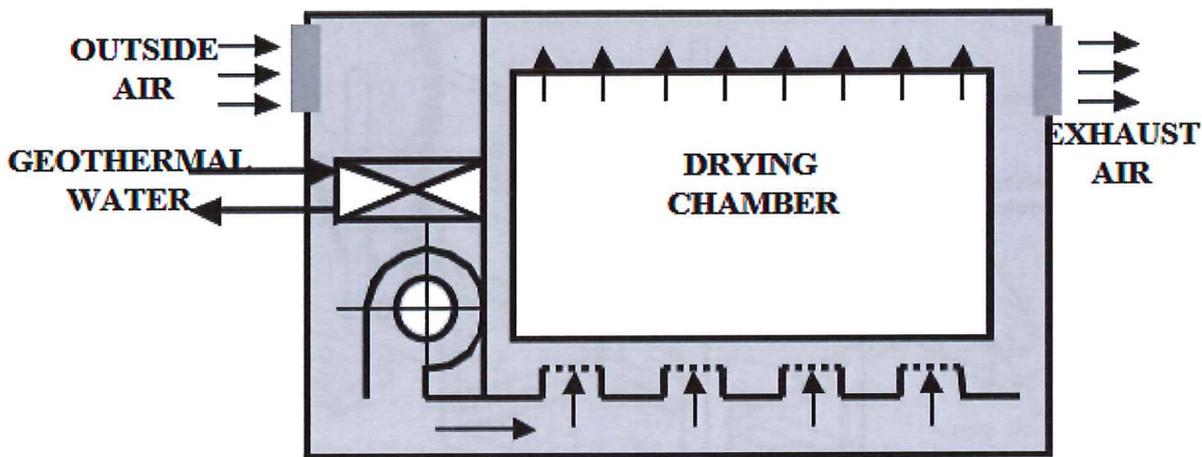


Ilustración 17 : Esquema de secador de tabaco usando agua geotérmica como fluido de calentamiento (Fuente: S. Popovska-Vasilevska)

Lamentablemente, se ha visto por otra parte que las principales áreas de interés geotérmico no cultivan el tabaco. De hecho, el cultivo de tabaco se hace casi exclusivamente en el noroeste del país, a larga distancia de las zonas de interés geotérmico.

6.1.5 El café

La producción de café se ha reducido drásticamente en los últimos años, principalmente a causa del ataque de Roya de café. Las exportaciones de café dominicanas han caído por 84% entre 2005/6 y 2014/15 de más de 160 miles quintales a 25 miles quintales. Pero todavía sigue siendo una fuente de divisas importante con 7,7 M US\$ en 2014/5. La producción de café dominicana ha experimentado una caída de tal manera que el 92% del café que se consume en el país proviene del extranjero, mientras la exigua producción local de grano se exporta a otros países, principalmente a Europa. En República Dominicana hay 102.000 hectáreas de terreno dedicadas al cultivo de café, en las que trabajan unas 28.000 familias.

República Dominicana: Exportación, Precios FOB y Valor en divisas del Café Dominicano. Años Cafeteros 2005/06-2014/15. (En Miles de QQ y US\$).

AÑOS	CANTIDAD QQ	EXPORTACION	
		PRECIO FOB P/P/qq*	VALOR US\$
2005/06	160.23	119.43	19,136.01
2006/07	95.87	130.68	12,528.58
2007/08	95.25	165.18	15,733.38
2008/09	137.58	151.76	20,879.26
2009/10	49.86	180.90	9,019.28
2010/11	115.78	227.32	26,239.55
2011/12	132.67	228.39	30,344,733.39
2012/13	124.98	248.52	22,459,601.23
2013/14	59.42	287.14	10,562,842.53
2014/15	25.28	374.72	7,678,562.69

Fuente: Departamento de Mercadeo y Certificación del CODOCAFE, 2016.
*P/P/qq = Precios Promedio por Quintal

Ilustración 18 : Cantidades y valor del café dominicano exportado entre 2006 y 2016

Antes del envío, el café se seca y un medidor de humedad de café se utiliza para medir la humedad del grano. El café debe de ser secado de un contenido de humedad aproximadamente de 60% a un contenido de humedad del 11-12% que se consigue en varias etapas de secado. Normalmente el café se seca en patios grandes hechos de asfalto o cemento y luego puede ser trasladado a secadoras mecánicas o solares (túneles). El café en los patios de secado se desplaza cada 30-40 minutos y se mantiene en largas filas de no más de 5 cm de altura. Al lado de cada fila es terreno abierto, que se calienta y está secado por el sol. El café se desplaza entonces hacia la parte seca del patio, y la sección donde estaba antes se deja ahora secar al sol. Esto ayuda a acelerar el proceso de secado del café y previene la fermentación y el desarrollo de granos mohosos. Las dos etapas de secado de café finales (15-11% de humedad) toman sólo seis horas a 40 °C en un secador mecánico.

Hay varios sistemas de secado de café disponibles. Las nuevas secadoras de café (de tipo “barril dryers”) están diseñadas para mezclar el café de manera uniforme para asegurar un secado uniforme. El secado de café mediante el uso de secadores mecánicos acelera la parte más lenta del proceso de secado de café (para llegar a 15-11% de humedad) y ayuda a prevenir la fermentación. En algunos lugares de alta humedad, el proceso de secado completo debe tener lugar en secadores mecánicos. Secadoras mecánicas no deben tener una temperatura superior a 40-45 °C. Con una temperatura más alta, el potencial sabor del café está destruido.

Este tipo de temperatura puede por supuesto ser obtenido a partir de recursos geotérmicos de baja temperatura similares a los disponibles en la República Dominicana. Ya existen prototipos de secador de café totalmente alimentados por energía geotérmica. En comparación con el secado al sol (incluyendo en túneles), la energía geotérmica tiene la ventaja de ser una fuente continua de energía (independiente del clima) y por lo tanto permite un mejor control del secado a lo largo del proceso que puede tomar varios días.

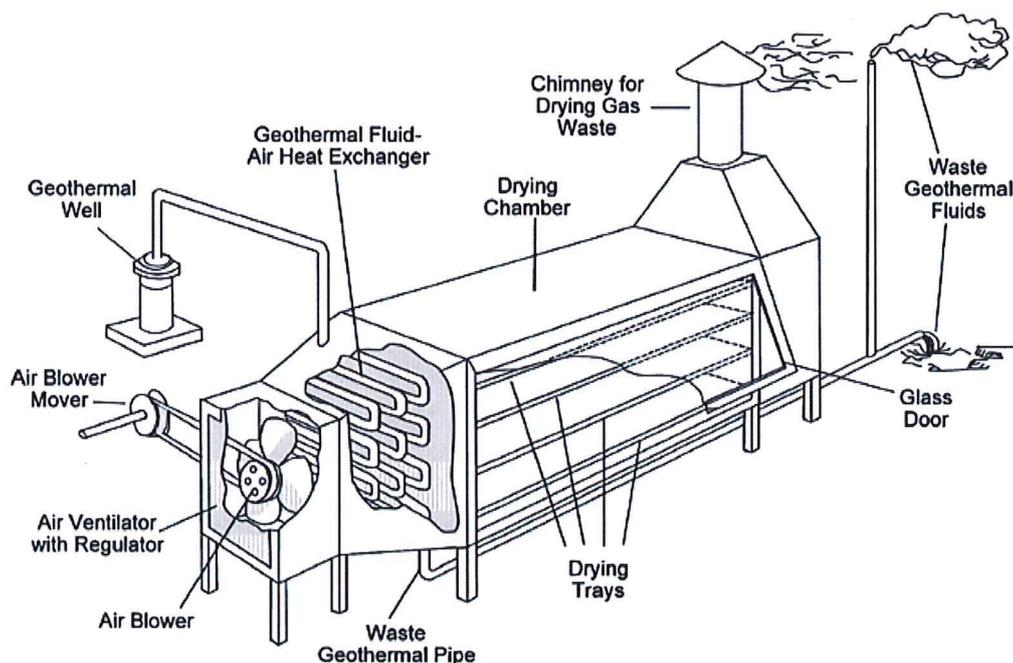


Ilustración 19 Ejemplo de secador de café usando energía geotérmica (Fuente: U. Sumotarto).

6.1.6 Los invernaderos

En las áreas de interés geotérmico, hemos visto que el uso de invernaderos para la agricultura podría ser bastante común, especialmente en altura, sobre todo en la zona de Constanza y Magueyal. Sin embargo, en estas zonas, los invernaderos no utilizan ningún sistema de calefacción (fuera de la radiación solar) y la principal fuente de energía utilizada es la electricidad para la iluminación nocturna.

Sin embargo, durante los últimos 25 años, el calentamiento de invernaderos ha sido el uso más común de la energía geotérmica en la agricultura en todo el mundo. En muchos países europeos, se utiliza el calor geotérmico para producir legumbres, frutas y flores (de manera comercial) durante todo el año.

El uso de la energía geotérmica para calentar invernaderos tiene varios beneficios (Popovski y Vasilevska, 2003):

- La energía geotérmica en general cuesta menos que la energía de otras fuentes disponibles.
- Los sistemas de calefacción geotérmica son relativamente fáciles de instalar y mantener.
- Invernaderos representan una proporción mayor del consumo total de la agricultura en energía (cual sea la fuente de energía)
- Las áreas de producción bajo invernaderos están a menudo cerca de las áreas geotérmicas de baja entalpía.
- Mejora la eficiencia de los productos alimenticios, haciendo uso de una fuente de energía a nivel local.

Los invernaderos pueden ser calentados de varias maneras (Lund, 1996):

- con tubos de plástico perforados que recorren la longitud del invernadero permitiendo hacer circular el aire previamente calentado en intercambiadores de calor y para distribuir el calor de manera uniforme;
- la circulación directa de agua caliente en tubos o conductos sobre o bajo el suelo;
- la circulación de calor a través de fans a lo largo de las paredes y debajo de los bancos;
- usando el agua caliente para calentar las superficies del invernadero;
- aplicación de una combinación de estos métodos.

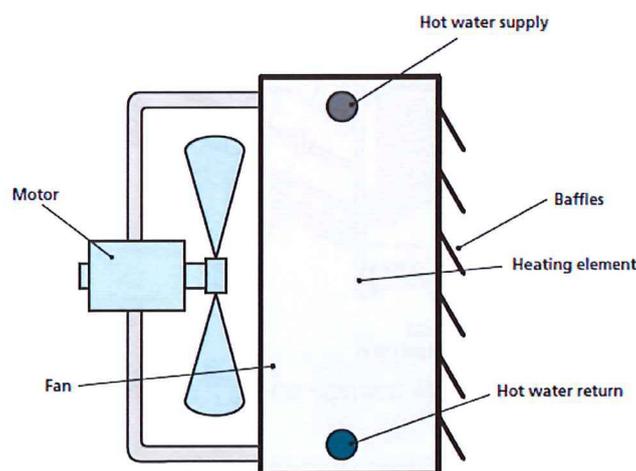


Ilustración 20 : Unidad de calentamiento horizontal usando agua caliente (Fuente: FAO)

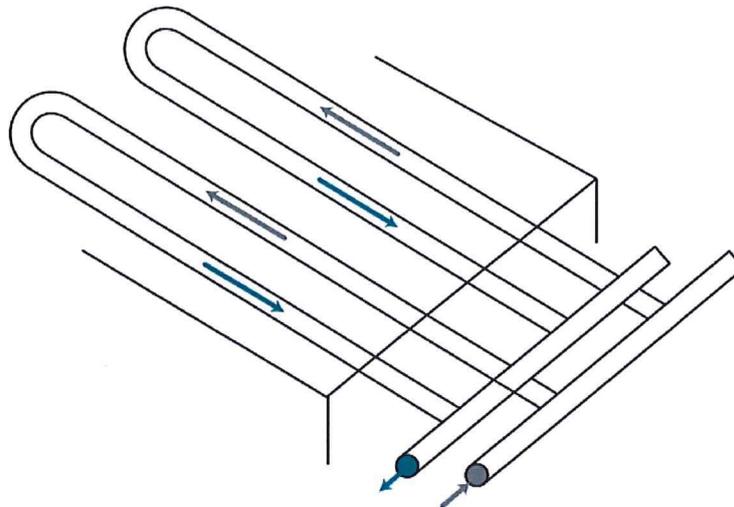


Ilustración 21 Sistema de distribución de calefacción en tubos para un calentamiento del suelo dentro de un invernadero (Fuente FAO)

El uso de la energía geotérmica para la calefacción de los invernaderos sería particularmente apropiado en el área agrícola de Constanza (especialmente cerca de la fuente Los Bambuses) donde las temperaturas pueden caer por debajo de 0 ° C en invierno. El uso de esta fuente de energía limpia y constante (a diferencia de la radiación solar que sólo se utiliza hasta ahora) podría notablemente ayudar a mejorar los rendimientos de la producción agrícola o florística (garantizando una temperatura constante en los invernaderos durante el día como por la noche, y eso, al largo del año).

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	29.0	30.0	31.5	29.6	31.0	30.6	31.5	31.0	32.0	32.5	29.5	26.8	32.6
Temp. máx. media (°C)	18	19.8	20.7	22.0	23.4	24.1	24.3	28.5	24.3	23.6	23.5	22.2	25.1
Temp. media (°C)	16.3	16.7	17.7	18.3	19.0	19.5	19.7	19.6	19.6	19.2	18.1	16.9	18.4
Temp. mín. media (°C)	3.4	5.7	7.6	10.7	11.7	12.9	13.1	13.1	10.9	8.6	6.7	4.6	11.8
Temp. mín. abs. (°C)	-5.0	-3.0	0.7	1.5	4.0	3.0	4.0	5.0	5.0	4.0	3.0	0.6	-5.0

Ilustración 22 Temperaturas en Constanza durante el año (promedio 1971-2000). Fuente: Onamet

Los invernaderos ubicados en la región de Magueyal (que también se encuentra en altitud) también podrían beneficiarse de la energía geotérmica por las mismas razones.

7 EL SECTOR INDUSTRIAL EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

La industria es el segundo sector que más aporta al valor agregado, al empleo y al crecimiento de la economía dominicana, después del sector Servicios. Su crecimiento en los últimos 25 años fue 5.4%, promedio anual; similar al ritmo de expansión de la economía en su conjunto (5.5%). En particular, el PIB industrial (valor agregado) en el 2016 sumó \$649,040.6 millones de pesos a valor constante de 2007; en dólares US corrientes de 2016, el monto ascendió a \$17,313.6 millones. En 2016, la industria representaba 26,1% del valor agregado del PIB dominicano. La ilustración siguiente muestra la evolución del aporte al valor agregado por diferentes tipos de actividades en los últimos 25 años. Como se puede apreciar, el sector Industrial redujo su

participación en el valor agregado de la economía en cerca de 9 puntos porcentuales, pasando de 34.8% (1991) a situarse en 26.1% en 2016. Este encogimiento en la participación en el valor agregado también se ha dado en el sector agropecuario: durante el período de referencia, este sector perdió participación en cerca del 7 puntos porcentuales, según la nueva metodología de las Cuentas Nacionales, pasando de 13.5% (1991) a representar el 6.1% en el 2016.

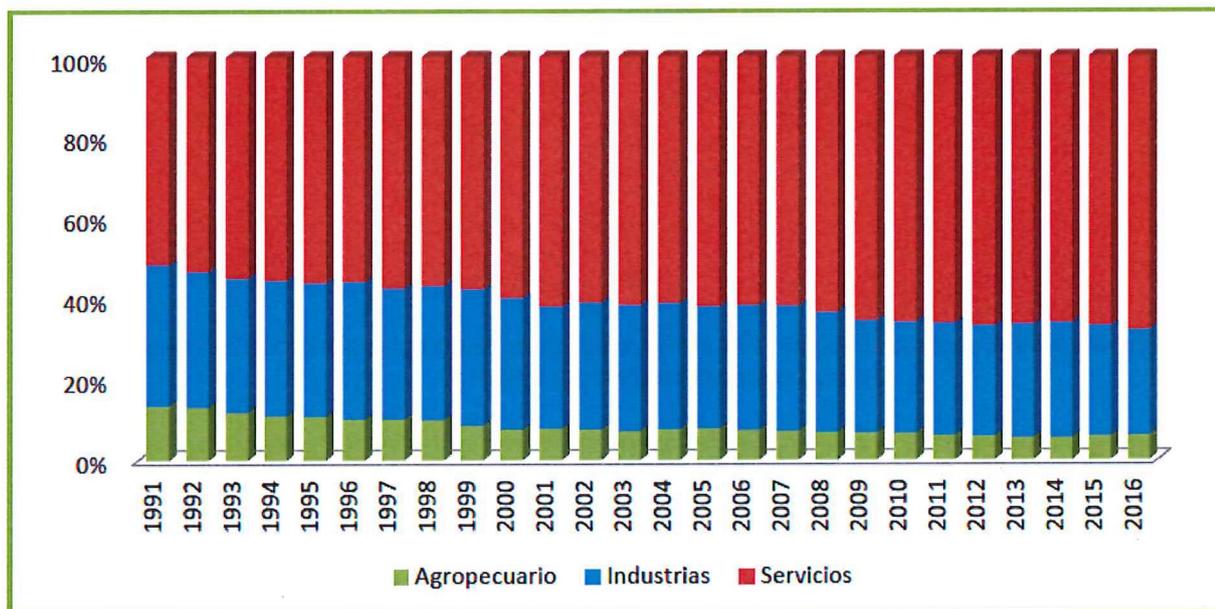


Ilustración 23 Evolución de la participación porcentual de la industria en el valor agregado, 1991-2016 (Año base 2007). (Fuente : Ministerio de industria comercio y mipymes).

En lo que corresponde a su incidencia en el empleo, la industria dominicana ocupa el segundo lugar. En el 2016, el mercado laboral estaba estructurado mayoritariamente por el sector Servicios (70.8%), Industrias (16.5%) y Agropecuaria (12.6%). Alrededor de 17 de cada 100 ocupados de la Población Económicamente Activa están en el sector Industrial.

Analizando los componentes de las actividades que integran el sector industrial, este último está formado por las actividades de explotación de minas y canteras (Minería: 2.1%), manufactura local (11%), manufacturas de zonas Francas (3.7%) y construcción (9.3%). La suma del aporte individual de los subsectores forma el PIB industrial, que en el 2016 significó el 26.1% del valor agregado total. Desde la perspectiva de la participación porcentual al interior del PIB industrial, en 2016, el subsector de mayor relevancia fue la manufactura local, que aportó el 42%; seguida por el subsector de la construcción (36%), zonas francas (14%) y la explotación de minas y canteras (8%). En los últimos 25 años, la evolución del sector estuvo marcada por la ganancia de participación de las actividades de construcción, que aumentó su incidencia en el PIB sectorial en más de un 21 puntos porcentuales; las actividades de explotación de minas y canteras expandieron su incidencia de forma modesta: alrededor de 3 puntos; las de manufactura local perdieron relevancia en alrededor de 25 puntos porcentuales, mientras que la incidencia de las actividades de zonas francas, rondó el 14% del PIB industrial.

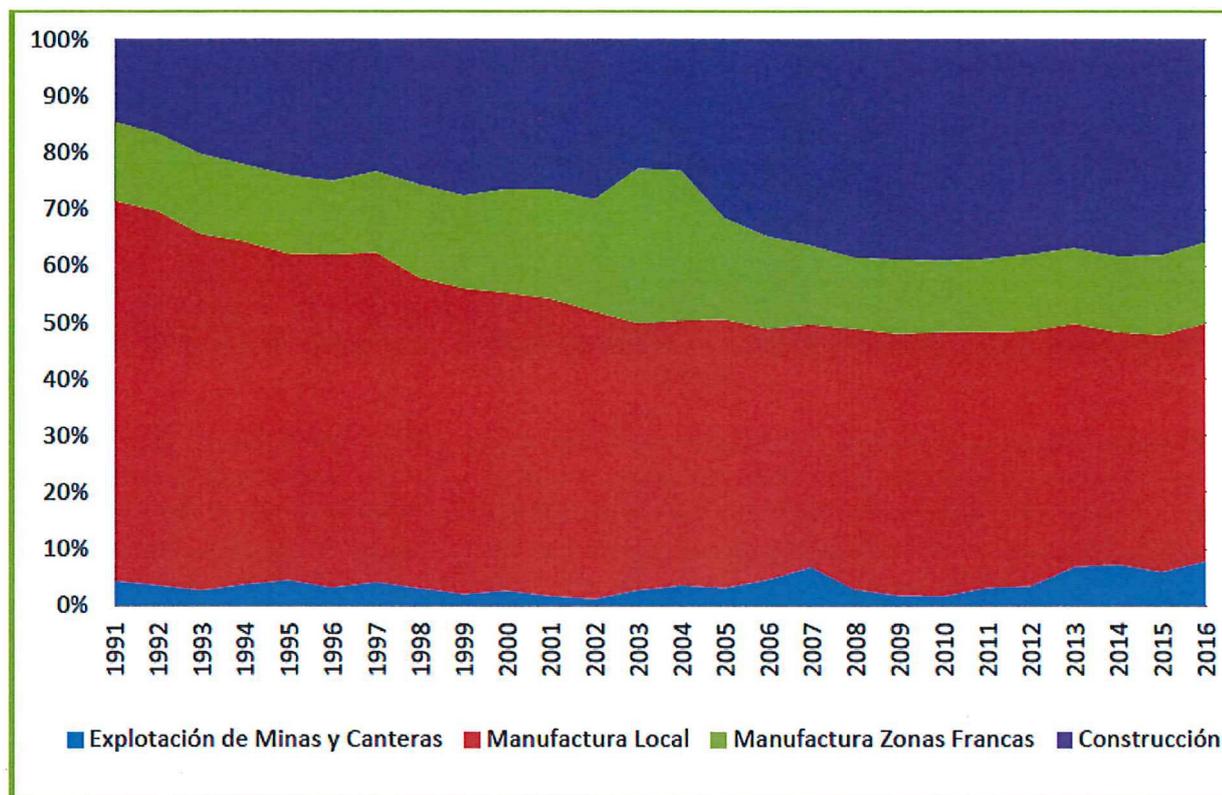


Ilustración 24 : Evolución del aporte al valor agregado industrial, por actividades económicas, 1991-2016

El consumo de energía final por sectores en la industria indica que la fuente principal de energía para ese sector es la electricidad (30%), seguida por dos otras fuentes intimamente ligadas a dos sub-sectores específicos. El bagazo representa 20% del consumo de la industria pero el subsector de la industria azucarera es dependiente a 90% de esa fuente (la cual es casi gratis porque el bagazo es el subproducto de la producción de azúcar). El coque representa más de 20% del consumo de la industria pero el subsector del cemento y de la cerámica es dependiente a 50% de esa fuente.

Por lo tanto, a pesar de la importancia de la industria azucarera en la economía dominicana, es poco probable que la energía geotérmica pueda desempeñar un papel importante debido a sus necesidades de energía relativamente altas ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), tanto para el tratamiento de la caña, que para la producción de azúcar, e incluso para la destilación de ron. Los recursos geotérmicos de la República Dominicana ($<100\text{ }^{\circ}\text{C}$) no permiten de cualquier manera de cubrir estas necesidades. Además, estas necesidades energéticas ya están cubiertas casi en su totalidad por el bagazo, que es un recurso renovable y casi gratis, ya que es un subproducto del procesamiento de la caña.

BALANCE ENERGETICO 2015 (kTep)	ENERGÍA PRIMARIA					ENERGÍA SECUNDARIA						TOTAL	
	GAS NATURAL	CARBON MINERAL	BAGAZO	OTRAS PRIMARIAS	TOTAL ENERGIA PRIMARIA	ENERGIA ELECTRICA	GLP	GASOLINAS + ALCOHOL	DIESEL	FUEL OIL	COQUE		TOTAL ENERGIA SECUNDARIA
INGENIOS AZUCAREROS	16,80		232,32		249,12	10,32			19,03			29,35	278,48
RESTO IND. ALIMENTICIA	15,34	12,12		4,76	32,22	129,27	25,50	1,19	17,38	10,35		183,69	215,90
TABACO	0,14				0,14	2,04	0,14		0,16	0,10		2,43	2,57
TEXTILES Y CUEROS	1,03				1,03	16,58	0,01		1,17	2,84		20,59	21,62
PAPEL E IMPRENTA						20,33	1,78			4,40		26,51	26,51
QUIMICOS Y PLASTICOS	17,93				17,93	59,87	0,15		20,31	0,39		80,71	98,64
CEMENTO Y CERAMICA	10,52	75,92			86,43	141,24	7,16	0,03	11,91	14,27	374,30	548,91	635,34
RESTO INDUSTRIA	3,40				3,40	26,65	7,23	0,07	3,85			37,80	41,20
ZONA FRANCA	26,04				26,04	82,72	9,06		29,50	0,54		121,82	147,86
INDUSTRIA	91,20	88,03	232,32	4,76	416,31	489,00	51,01	1,29	103,31	32,89	374,30	1051,80	1468,11

Tabla 1 Consumo neto de energía por cada tipo de fuente energética en el sector industrial (Fuente CNE).

Hay muchos ejemplos de uso de energía geotérmica de alta y baja entalpía en el mundo en el campo de los procesos industriales que requieren la producción de vapor o la producción de agua caliente a diferentes temperaturas. La lista de estas aplicaciones se da en la siguiente ilustración. También se indica, mediante una línea roja, los recursos geotérmicos de temperatura máxima que se encuentran en la República Dominicana. Lamentablemente, hemos visto que las principales áreas de interés geotérmico no muestran un desarrollo significativo de su industria que podría justificar economicamente el desarrollo de un proyecto geotérmico.

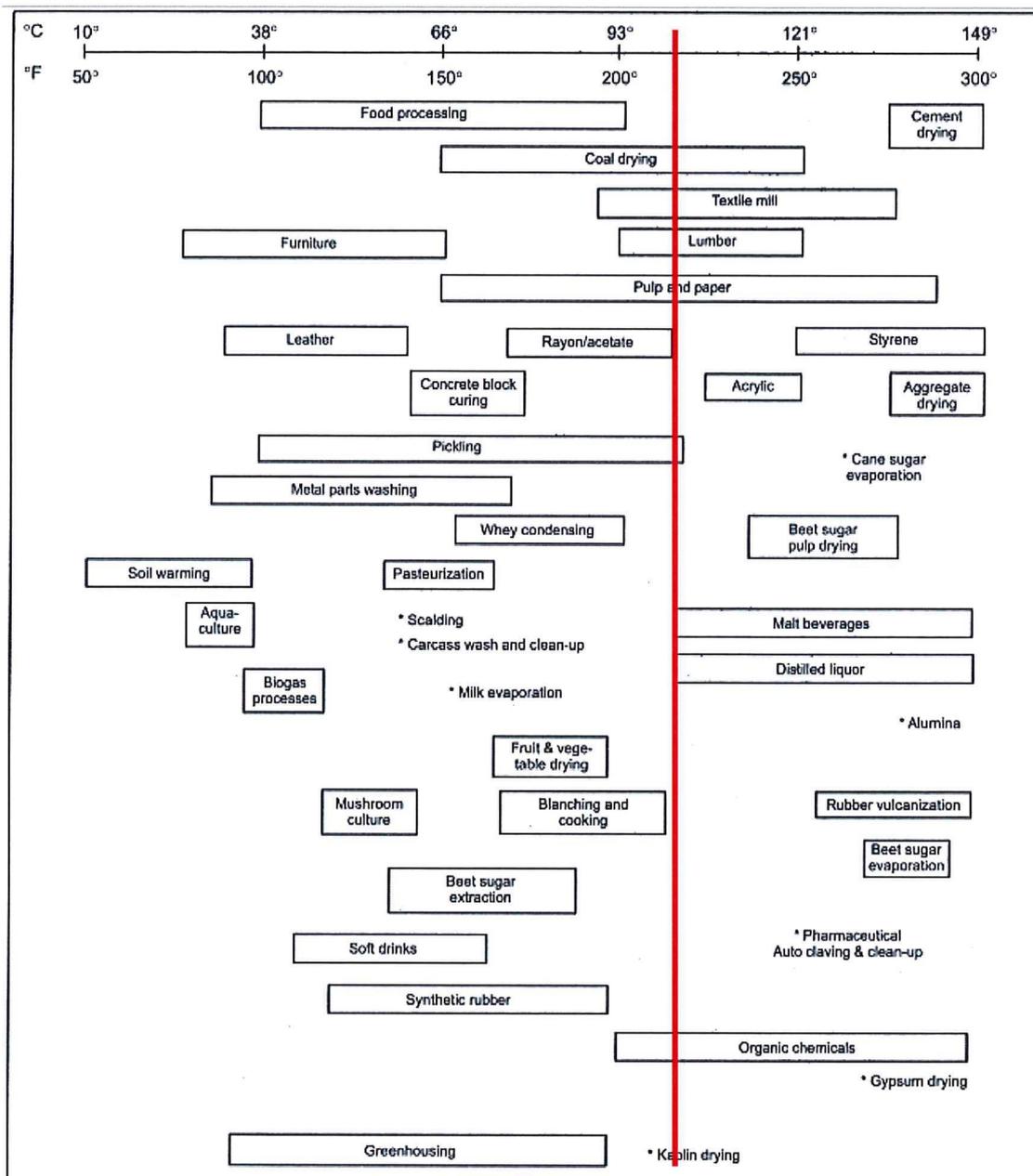


Ilustración 25 Rango de temperatura para procesos industriales (y agricultura). Temperaturas en °C y °F (Fuente: Johannesson and Chatenay)

8 EL SECTOR RESIDENCIAL EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

El uso directo de la energía geotérmica en la zona residencial urbana se encuentra en 2 áreas:

- la producción de calor para calefacción y la producción de agua caliente sanitaria (ACS);

-La producción de frío para el aire acondicionado (mediante el uso de grupos frigoríficos).

La viabilidad económica de un proyecto de distribución de energía urbana (independientemente de la fuente de energía primaria) requiere el establecimiento de una red de distribución de energía (calor o frío) para atender a una población suficientemente densa para justificar las inversiones relacionadas con el despliegue de red. Típicamente, en la zona de París (para temperaturas del recurso geotérmico equivalentes a las de la República Dominicana), el despliegue de una red de distribución se refiere a asentamientos cuya densidad de población excede 3-4 000 habitantes por kilómetro cuadrado, con una proporción importante de viviendas colectivas (edificios o grupos de edificios). Por razones de viabilidad técnica, esta vez, la fuente geotérmica no puede encontrarse mucho más que a unos kilómetros del usuario final (debido a las pérdidas de calor en la red).

Hoy, las redes de distribución de calor o frío no están desarrolladas significativamente en República Dominicana. Sin embargo, hay algunos ejemplos de distribución localizada como en Playa Bavaro (vea más abajo).

El consumo de energía en el sector residencial indica una dicotomía significativa entre el sector residencial rural que depende, en gran parte, de la leña para la producción de energía y las zonas urbanas dependientes esencialmente de la electricidad y del gas. Las viviendas rurales que están cubiertas a más del 60% por los combustibles no comerciales (leña) no presentan ningunas necesidades que podrían ser cubiertas por la energía geotérmica. Por el contrario, la mayoría de las necesidades del sector urbano están alimentadas por fuentes de energía comerciales (electricidad, gas y carbón), que podrían ser sustituidas por la energía geotérmica, tanto para la producción de calor (principalmente para agua caliente) como para la de frío (aire acondicionado).

BALANCE ENERGETICO 2015 (kTep)	ENERGIA PRIMARIA				ENERGIA SECUNDARIA					TOTAL
	LEÑA	SOLAR	OTRAS PRIMARIAS	TOTAL ENERGIA PRIMARIA	ENERGIA ELECTRICA	GLP	KEROSENE	CARBON VEGETAL	TOTAL ENERGIA SECUNDARIA	
RESIDENCIAL URBANO	60,13	7,96	2,58	70,67	418,96	365,53	2,46	38,75	825,70	896,37
RESIDENCIAL RURAL	359,41		0,21	359,62	38,52	82,97	3,47	31,67	156,63	516,25
RESIDENCIAL TOTAL	419,54	7,96	2,79	430,29	457,48	448,50	5,93	70,42	982,33	1 412,62

Tabla 2 : Consumo neto de energía por cada tipo de fuente energética en el sector residencial (Fuente CNE).

Sin embargo, como hemos visto en la descripción de las zonas visitadas, ninguna se caracteriza por su proximidad a una densidad fuerte de viviendas (incluyendo edificios grandes) que podrían justificar el desarrollo de un proyecto geotérmico (asociado con una red de distribución) para la producción de agua caliente o fría para el aire acondicionado. Las principales ciudades que podrían justificar económicamente la implantación de un sistema de este tipo son Santo Domingo y Santiago. Ambos son demasiado lejos de las áreas de interés geotérmico.

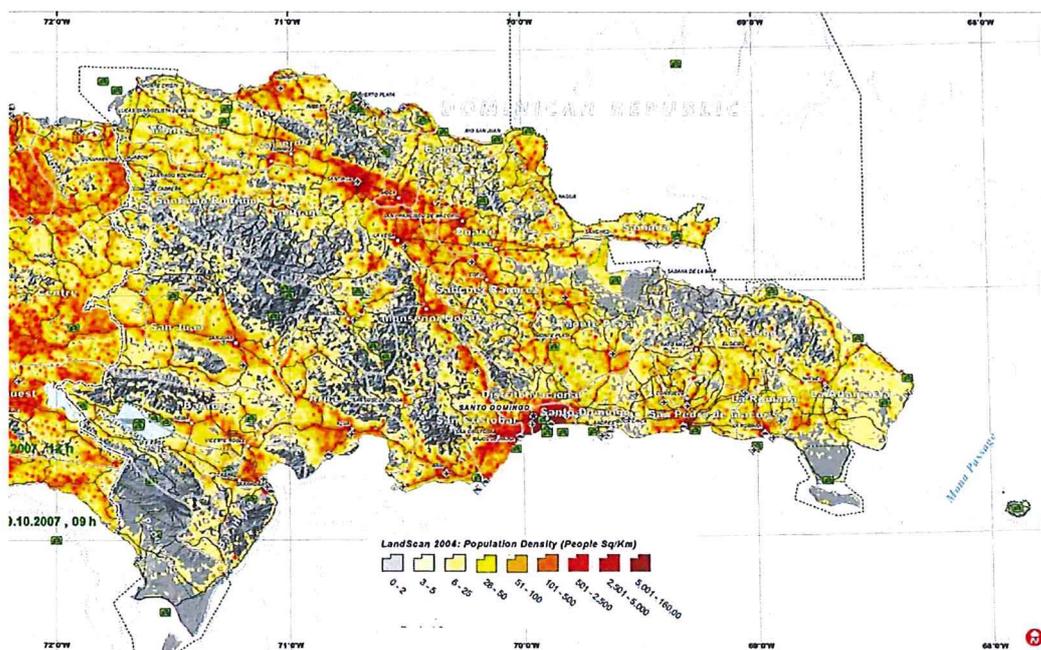


Ilustración 26 : La densidad de población en la República Dominicana

9 EL SECTOR DEL TURISMO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

Con 5,6 millones de visitantes en 2015, la República Dominicana es el primer destino turístico en el Caribe frente a Puerto Rico y Cuba. La República Dominicana recibe más del 22% de los turistas que visitan el Caribe. El crecimiento del turismo en los últimos años ha sido significativo con un incremento del 5% por año en promedio entre 2010 y 2015. También es la principal fuente de divisas del país: 6,1 mil millones USD en 2015, antes de zonas francas industriales (5,5 mil millones USD), transferencias de dinero desde el extranjero (remesas: 5 USD mil millones) y la inversión directa del extranjero (2,4 mil millones USD). La contribución a la economía del país es particularmente importante, ya que el sector representa el 16,1% del PIB del país en 2015 (500,8 millones de RD \$) tomando en cuenta las contribuciones directas, indirectas e inducidas del turismo, con un aumento promedio de 9,1% por año entre 2010 y 2015. Por fin, el turismo representa el 15% de los empleos en la economía de la República Dominicana, que sean directos o indirectos (hoteles, restaurantes, agencias de viajes, empresas de transporte, etc ...).

APORTE A LA ECONOMÍA



Al 2015, el 16.1% del aporte al PIB significa RD\$500,800 millones en términos reales, impulsado por el gasto de los turistas.



Fuente: Consejo Mundial de Viajes y Turismo

Ilustración 27 Aporte del turismo a la economía dominicana entre 2010 y 2016

El consumo de energía final por sectores en el turismo indica que los hoteles y restaurantes obtienen energía a partir de tres fuentes principales: la electricidad (fuertemente dominante), el GLP y el diésel en un grado menor. Podemos suponer que una parte significativa de los combustibles fósiles debe de ser utilizada para el funcionamiento de los generadores de electricidad de emergencia (en caso de corte), sino también para la producción de agua caliente sanitaria (calderas) y la cocina (restaurantes).

	ENERGÍA PRIMARIA			ENERGÍA SECUNDARIA						TOTAL
	LEÑA	SOLAR	TOTAL ENERGÍA PRIMARIA	ENERGÍA ELECTRICA	GLP	GASOLINAS + ALCOHOL	DIESEL	CARBON VEGETAL	TOTAL ENERGÍA SECUNDARIA	
RESTAURANTES				28,78	22,40	0,02		1,66	52,87	52,87
HOTELES	0,05	0,42	0,47	117,11	20,31		18,48		156,50	156,96
RESTO SERVICIOS				161,55	13,14				174,70	174,70
COMERCIAL, SERV. Y PÚBL.	0,05	0,42	0,47	307,44	56,45	0,02	18,48	1,66	384,06	384,53

Tabla 3 : Consumo neto de energía por cada tipo de fuente energética en el sector turístico (Fuente CNE).

En el sector turístico, la implementación de la energía geotérmica de baja entalpia (como está presente en la República Dominicana) puede intervenir en dos áreas: el suministro de calor a complejos turísticos y hoteles (principalmente para la producción de agua caliente sanitaria y la producción de frío para el aire acondicionado) y la creación de baños termales. Al igual que en el sector residencial (véa más arriba), el uso de la energía geotérmica profunda en el sector turístico sólo tendría sentido si se puede conectar a una red de distribución para el suministro de varias instituciones necesitando una demanda en energía total suficientemente grande.

Las zonas turísticas y hoteles

Las 6 principales zonas turísticas de República Dominicana, potencialmente usuarias de la energía geotérmica para la producción de energía primaria, son los siguientes:

- Punta Cana- Bávaro, ubicada en la costa este de la isla;
- Santo Domingo, la capital, ubicada en la costa sur de la isla;
- Boca Chica-Juan Dolio, Bayahibe, ubicada en la parte sureste de la isla;
- Puerto Plata, Sosua, Cabarete, ubicada en la costa norte de la isla;
- Samana-Las Terrenas, ubicada en la parte noreste de la isla.

Existen embriones de red de distribución de calor en estas áreas, como en Bavaro donde una planta de trigeneración de 25 MW (a base de fuel-oil) permite la producción de 10,8 MWe, 6,8 t/h de vapor y 2,6 MW agua caliente que se distribuyen a 6 hoteles contiguos en la zona (aproximadamente a 4 km de distancia). En estos hoteles, se suministran el vapor y el agua caliente para las lavanderías, la producción de agua caliente sanitaria y el aire acondicionado (mediante el uso de un enfriador en cada uno de los hoteles para la producción de aire frío).

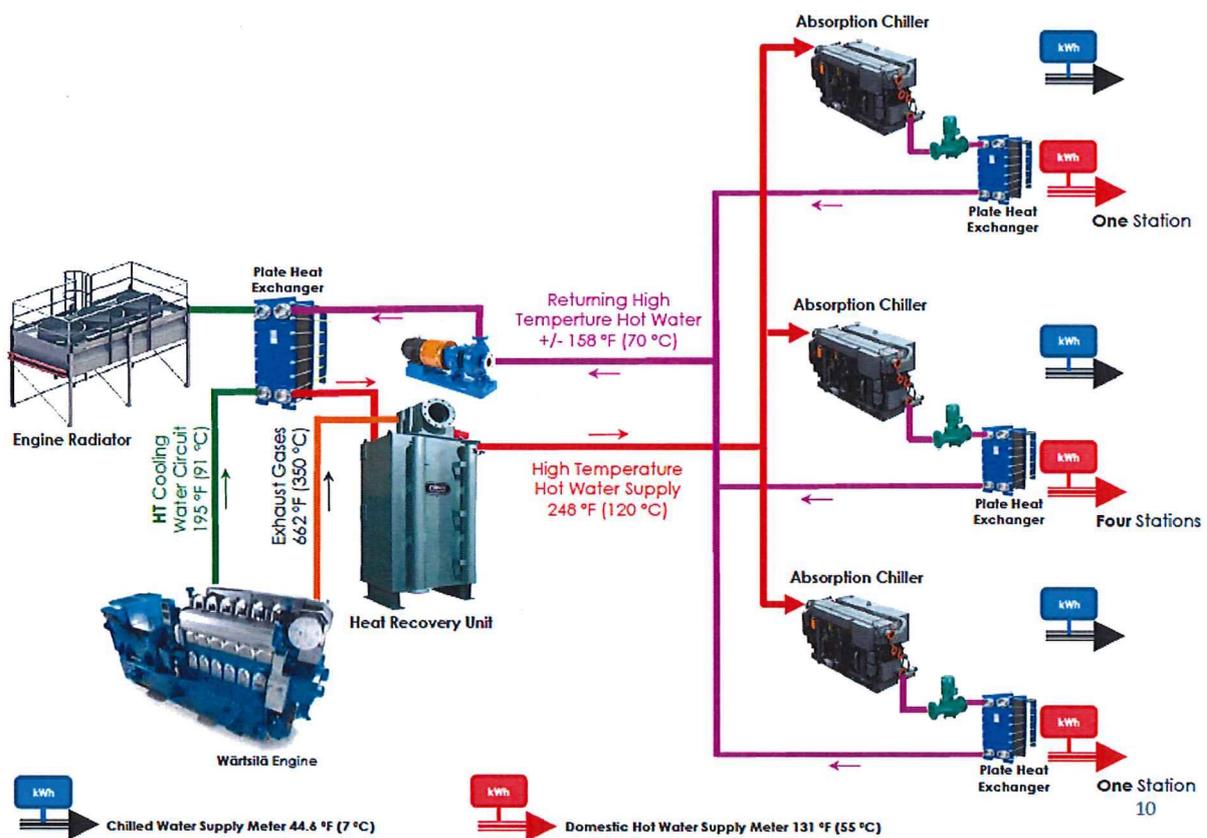


Ilustración 28 Modo de operación de la planta de trigeneración de Bavaro (Fuente: A. Colombano)

La fuente de calor de una red de este tipo también podría provenir de los recursos geotérmicos. Parece, lamentablemente, que debido a sus posiciones geográficas, las 6 principales zonas turísticas de República

Dominicana son demasiado distantes de los recursos geotérmicos de interés y no es posible conectarlas a un sistema de distribución geotérmica para el suministro de calor renovable. Las otras zonas turísticas de la isla son demasiado modestas en tamaño para justificar económicamente la implantación de un sistema de este tipo (como en Baharona, por ejemplo).

Tal como para la generación de electricidad, una vía de desarrollo a tener en cuenta es la reutilización de los antiguos pozos de petróleo si los recursos geotérmicos con temperatura suficiente están demostrados y si se encuentran cerca de una densidad suficientes de hoteles de gran tamaño.

Las baños termo-lúdicos

El ejemplo del complejo termo-lúdico de Aguas Calientes en la zona de San José de las Matas indica que es totalmente posible, y obviamente rentable, de desarrollar la geotermia para usos termo-lúdicos en la República Dominicana con una inversión mínima (no se necesita sistemáticamente perforaciones nuevas excepto, posiblemente, para mejorar el flujo de agua según las necesidades del centro, en función del tamaño deseado de este último). La creación de baños termales lúdicos puede ser considerada en las zonas ya turísticas como en la zona de Constanza (aunque en este último caso, la distancia entre las fuentes y la ciudad de Constanza y la infraestructura nueva necesaria para la llegada de turistas pueden influenciar negativamente el proyecto) o en zonas que ya son accesibles. El ejemplo de Canoa es probablemente el más fácil de implementar. De hecho, las fuentes de Canoa están en la carretera principal de Santo Domingo a Barahona (la cual ya es una zona turística) y un baño lúdico-termal en Canoa podría aumentar el atractivo de la zona. Otras áreas no muestran potencial turístico y / o el acceso a las fuentes es muy difícil (camino inexistentes o en mal estado).

10 LAS POSIBLES APLICACIONES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

Los resultados del estudio BRGM sobre la caracterización de los recursos geotérmicos en la República Dominicana y el análisis de las necesidades de las áreas de interés geotérmico conducen a las siguientes conclusiones sobre el desarrollo de proyectos geotérmicos en el país:

-En el campo de la producción de electricidad, la calidad de los recursos (incluyendo la temperatura alrededor de 100 °C máximo) no permite considerar la generación de electricidad con turbinas convencionales utilizando el vapor geotérmico. Aunque en límite de temperatura, el uso de ciclos ORC para producir electricidad (de baja potencia) puede ser considerado con condiciones muy específicas en cuanto al acceso al recurso geotérmico (las que necesitan ser confirmadas con estudios adicionales de los yacimientos geotérmicos del país).

-En el campo de la utilización directa de calor, ninguna área de interés presenta necesidades de calor suficientemente grandes para justificar, en esta etapa, el desarrollo de la energía geotérmica para sustituirse a las necesidades existentes. Sin embargo, proyectos pilotos pueden surgir, también con condiciones específicas de acceso al recurso al ser confirmadas por estudios adicionales sobre los yacimientos geotérmicos del país.

Antes de revisar estos proyectos potenciales (generación de electricidad y usos directos), es necesario presentar un elemento de costo importante en un proyecto geotérmico: la perforación geotérmica en general y en el marco de la República Dominicana.

10.1.1 Perforación geotérmica en la República Dominicana

En general, un proyecto geotérmico para la producción de electricidad o de calor necesita realizar varias perforaciones geotérmicas de unos 2.000 metros de profundidad (promedio internacional, especialmente en las zonas favorables con un alto gradiente de temperatura). Este costo representa aproximadamente el 40% de los costes totales de un proyecto geotérmico para la producción de electricidad, pero este porcentaje puede aumentar de manera significativa para proyectos vinculados a los usos directos (hasta 70%). Para tal profundidad y teniendo en cuenta el diámetro final típicamente usado en la industria geotérmica (perforación de 12' ¼ con un tubo de 9' 5/8), el coste medio de una perforación geotérmica puede estimarse en USD 4 millones (incluyendo los tubos). Ese precio promedio puede variar significativamente, dependiendo de las condiciones geológicas encontradas en la perforación y de las condiciones medioambientales (un pozo realizado en una zona aislada generalmente es más caro). El costo de la perforación geotérmica, íntimamente ligado a la de la extracción de petróleo suele ser bastante constante en todo el mundo (excepto en algunos casos particulares, como Turquía, donde ha caído drásticamente en los últimos años, debido al auge de la energía geotérmica en el país: precio medio de un pozo geotérmico de 2,500 m en 2016: USD 2,2 millones). Dado que es generalmente necesario reinyectar el fluido geotérmico explotado (ya sea por razones medioambientales, sino también para explotar de forma sostenible el reservorio geotérmico), el coste medio de perforación puede llegar a aproximadamente \$US 8 millones para la perforación de 2 pozos.

En la actualidad, no existe un equipo de perforación en la República Dominicana para lograr tal profundidad (2000 m) en los diámetros requeridos. Por lo tanto, los costos de la movilización y demovilización de los equipos de otro país (EE.UU.?) podrían hacer aumentar significativamente la factura final.

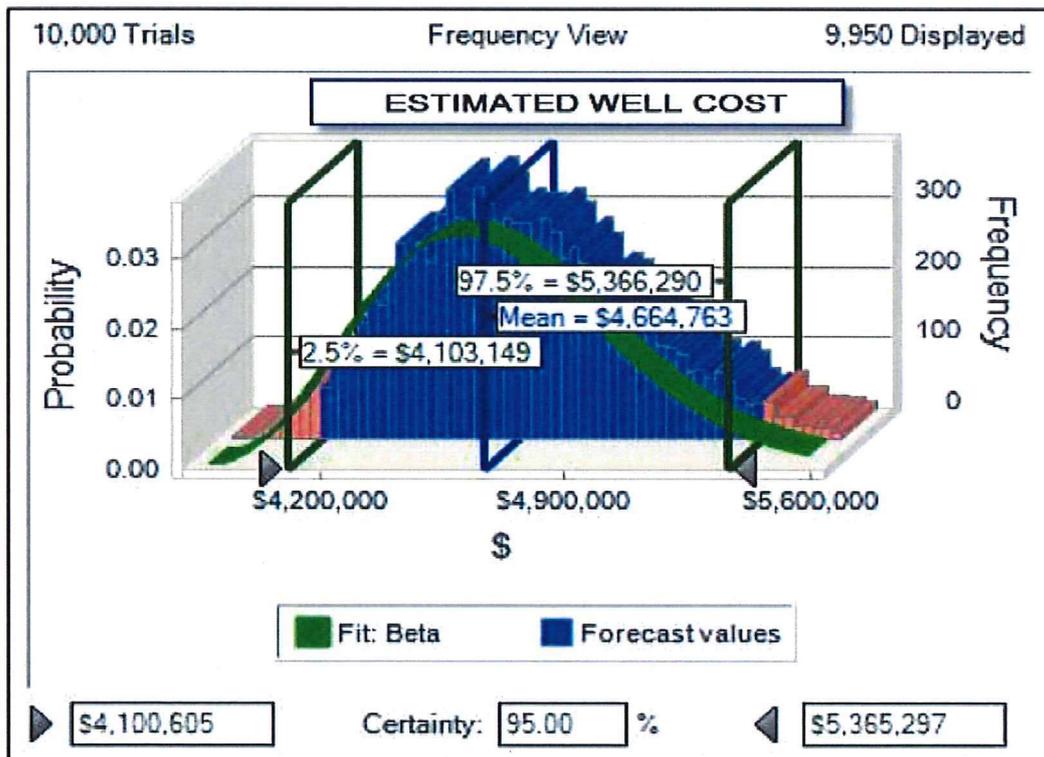


Ilustración 29 Ejemplo de análisis para el costo de un pozo geotermico de referencia a 2175 m de profundidad en Islandia

Por otra parte, el transporte y el establecimiento de un rig de perforación profunda (grande y pesado) requiere la renovación de las infraestructuras (carreteras) y la preparación de una plataforma de 4000 a 5000 m² perfectamente horizontal, lo cual, en el caso de República Dominicana donde las áreas de interés geotérmicas están relativamente lejos de las carreteras principales, puede aumentar excesivamente los costos totales de un proyecto geotérmico (el costo de una carretera de asfalto de 6,5 m de ancho se estima en 22 millones de pesos por kilómetro, o alrededor de 500 000 US\$ / km).

Si el presupuesto significativo para la realización de perforaciones profundas (perforación en sí mismo y los costes de infraestructura) por lo general puede ser perfectamente justificado para lograr un proyecto geotérmico de alta temperatura para la generación de electricidad, es poco probable que sea adecuado para la realización de un proyecto geotérmico en la República Dominicana, donde los recursos geotérmicos solo dejan como perspectivas proyectos de generación de electricidad de baja potencia (<1 MW) o proyectos para usos directos. Con un presupuesto inicial de perforación tan importante, el coste final del kWh producido (que sea eléctrico o térmico) sería probablemente demasiado importante.

En la actualidad, los equipos disponibles para la perforación en la República Dominicana, permiten considerar una profundidad máxima de perforación de 500 m en el diámetro final de 5 pulgadas (y un tubo de 4 pulgadas). Este tipo de perforación requiere una plataforma más pequeña de aproximadamente 200 m². Por otra parte, la movilización y desmovilización de los equipos de perforación (mucho más ligeros) no siempre requieren renovación de las infraestructuras de acceso a los sitios (por lo tanto disminuyendo el coste total del proyecto). Por último, el costo final de estos pozos poco profundos puede estimarse en 150-200 US\$ por cada metro perforado (incluyendo la preparación de la plataforma, pero sin el tubo de acero / Fuente: Empresa GEOCIVIL). Por lo tanto, dos pozos de 500 m de profundidad podrían tener un coste final de aproximadamente 200 000 US\$ (excluyendo costo de renovación de las carreteras). En estas condiciones financieras, el desarrollo de un proyecto geotérmico (incluyendo para los usos directos) podría ser perfectamente concebible. Nótese, sin embargo, que dado los diámetros máximos alcanzables con los equipos disponibles en la República Dominicana, se necesitarían muchas perforaciones de producción para alimentar un ORC para la generación de electricidad de aproximadamente 1 MW (flujo total necesario de 400 m³ / h).

Por lo tanto, parece que el desarrollo futuro de la energía geotérmica en la República Dominicana es altamente dependiente (entre otros) de la profundidad en la que se encuentran los recursos geotérmicos. Sin embargo, en esta etapa de los estudios de los recursos geotérmicos en el país (y en ausencia de estudios geofísicos apropiados), esta profundidad aparece bastante incierta.

10.1.2 Proyectos potenciales para la generación de electricidad

Dada la calidad de los recursos geotérmicos en la República Dominicana y nuestro análisis de los sitios de interés geotérmico visitados durante este estudio, el único sitio con una posibilidad de generación de electricidad mediante el uso de un ciclo ORC es La Tina-Guayabal donde la temperatura del recurso profundo se estima en 90 ±20 °C. En esta zona no interconectada al sistema eléctrico nacional, el desarrollo de un proyecto de electrificación rural (desde unos pocos cientos de kW) podría permitir el desarrollo económico de la zona. El uso en cascada del fluido geotérmico a la salida del ciclo binario también podría permitir el suministro de calor renovable a los invernaderos al nivel local. Teniendo en cuenta lo que se ha explicado en el párrafo anterior, un proyecto de este tipo, probablemente sería posible si los recursos geotérmicos a 90 °C son poco profundos (en la actualidad, el techo del reservorio geotérmico se estima entre 500 m y 2000 m de profundidad), y si la renovación de la carretera para acceder al sitio (que está en mal estado) no requiere un

gasto excesivo. Por otra parte, será necesario confirmar que el tamaño del reservorio geotérmico y la cantidad de fluido que se puede extraer (desconocidos hasta la fecha) puedan permitir operar una planta geotérmica en el largo plazo. Se requieren estudios geofísicos específicos (en magnetotelúrico, por ejemplo) para esta estimación. En todos los casos, teniendo en cuenta los grandes volúmenes de fluidos necesarios para alimentar un ciclo ORC a baja temperatura, y teniendo en cuenta los diámetros de perforación disponibles en República Dominicana (5 pulgadas), varias perforaciones serán necesarias para alimentar una planta de energía geotérmica. El ejemplo de Chena indica que tal proyecto podría presentar una inversión necesaria de sólo varios millones de dólares. En esta etapa de conocimiento de los recursos geotérmicos, es difícil dar una cuantificación más precisa del proyecto piloto.

Con una temperatura del reservorio geotérmico estimada de $80 \pm 20^{\circ}\text{C}$, el sistema Magueyal / San Simón / Vuelta Grande también podría ser potencialmente utilizado para desarrollar un ciclo binario ORC para la producción de electricidad (con costes de infraestructura predecibles para acceder a la zona menores que en Guayabal). Sin embargo, el modelo conceptual parece encaminarse a la presencia de un reservorio geotérmico a 2000 m de profundidad, lo que, teniendo en cuenta el costo de la perforación necesaria, haría más difícil justificar económicamente el proyecto.

10.1.3 Proyectos potenciales para usos directos.

Como se informó anteriormente, los actuales requerimientos de calor en las áreas de interés visitadas no son suficientes en sí mismos para justificar económicamente el desarrollo de un proyecto geotérmico cuyo calor producido podría sustituirse a los combustibles fósiles.

Sin embargo, por lo menos en dos áreas, proyectos pilotos podrían llevarse a cabo para poner a prueba el uso de la energía geotérmica de baja entalpía para nuevas aplicaciones relacionadas con las actividades agroindustriales en las zonas en cuestión.

El primero podría ser desarrollado en la zona de Aguas Calientes en relación con la necesidad de calor para secar el café (actualmente realizado de manera artesanal en plataformas de hormigón o en túneles) en la fábrica "Asociación de los Caficultores Unidos para el Progreso". Las temperaturas del recurso geotérmico (60°C) y la proximidad de la Procesadora están perfectamente adecuadas para el secado del café. La accesibilidad (carretera) a la zona geotérmica de interés también es muy buena. El proyecto piloto podría inicialmente validar la viabilidad del secado geotérmico de una pequeña parte de la producción de café de la asociación antes de extenderlo (en caso de éxito) a la totalidad de la producción de la Procesadora (7000 quintales) y luego la totalidad de la producción local (20.000 quintales). Garantizando el proceso de secado, esta solución permitiría mejorar la calidad del café producido y finalmente maximizar el valor añadido de la producción local. Una vez más, un proyecto de este tipo requiere, para ser económicamente viable, que los recursos geotérmicos sean accesibles a través de una perforación geotérmica superficial dentro de los 500 m. La compra de una secadora de granos que se utiliza con los recursos geotérmicos (o una secadora normal que se puede "geotermalizar") es la única inversión importante en este tipo de proyectos (unos pocos miles a decenas de miles de dólares dependiendo del tamaño de la secadora). Hay que tener en cuenta que la temperatura del recurso geotérmico no es suficiente para considerar el tostado del café localmente (este proceso requiere temperaturas de aproximadamente 200°C).

El segundo proyecto piloto podría ser desarrollado en la zona agrícola de Constanza, y más precisamente en la zona de los Bambuses. En esta zona de alta altitud ($> 1000\text{ m}$) donde las temperaturas pueden caer por debajo de 0°C , el suministro de calor geotérmico para la calefacción de los invernaderos existentes mejoraría significativamente los rendimientos de los cultivos, garantizando una producción constante durante todo el

año. Los invernaderos existentes no utilizan ningún sistema de calefacción. El uso de la calefacción geotérmica requiere que los invernaderos estén equipados de sistemas de distribución de calor (que, como se ha indicado anteriormente pueden ser relativamente simple y baratos: tubos simples colocados en el suelo). Dependiendo de la naturaleza del fluido geotérmico, este último podría circular directamente en el sistema de distribución o ser utilizado vía un intercambiador de calor para alimentar un circuito secundario.



Ilustración 30 Ejemplo de un sistema simple de calentamiento geotérmico de un invernadero en Nueva Zelanda (Fuente: E. Bourdon)

El mismo tipo de proyecto podría ser realizado en Guayabal donde también se utilizan invernaderos. En esta zona, se podría utilizar el fluido geotérmico en la salida del ciclo ORC para recuperar el calor residual antes de la reinyección en el subsuelo. En estas diferentes zonas de producción agrícola que envían todos sus productos frescos a las principales ciudades, proyectos de secado de verduras/frutos con energía geotérmica también podrían ser probados (aji monroe, tomate y plátano son los 3 principales producciones que pueden estar involucrados). Esta nueva actividad tendría la ventaja de aumentar el valor añadido de los productos de estas regiones, y al mismo tiempo proporcionar nuevos puestos de trabajo al nivel local. Al igual que en los casos anteriores, este tipo de proyectos solo pueden ser viables económicamente si los recursos geotérmicos son accesibles a través de la perforación geotérmica superficial dentro de los 500 m o menos.

11 BIBLIOGRAFIA

Colombano A., Development of the first Combined Heat and Power plant in the Caribbean (CHP-District Energy), IDEA2016, 107th Annual Conference and Trade Show, Saint Paul, MN, June 2016.

Holdmann G., The Chena Hot Springs 400 kW Geothermal Power Plant: experience gained during the first year of operation, Chena Power Document.

IRENA-CNE, Renewable Energy Prospects: Dominican Republic, Remap 2030, Nov. 2016.

Johanneson T., Chatenay C., Industrial applications of geothermal resources, "Short Course VI on Utilization of Low- and Medium-Enthalpy Geothermal Resources and Financial Aspects of Utilization", organized by UNU-GTP and LaGeo, in Santa Tecla, El Salvador, March 23-29, 2014.

Lund J. Lectures on direct utilization of geothermal energy. UNU G.T.P., Iceland, Report 1, 123 p., 1996.

Mayol V. Dominican Republic: Grain and Feed annual 2016, Document USDA – Foreign Agriculture Services, January 2016.

Monegro J. T. Y Grateraux C. M., Sobre el desarrollo industrial dominicano en los últimos 25 años (1991-2016): crecimiento, empleo productividad, Documento Ministerio de Industria, Comercio y MIPYMES.

OC-SENI, Informe anual de operaciones y transacciones económicas año 2016, Feb. 2017.

Popovska-Vasilevska S., Drying of agricultural products with geothermal energy, Document of the Faculty of technical Sciences of Bitola, Macedonia, 11 p.

Sumotarto U., Design of a geothermal energy dryer for beans and grains drying in Kamojang geothermal field, Indonesia. GHC Bulletin, March 2007.

Van Nguyen M., Arason S., Gissurarson M., Palsson P. G., Uses of geothermal energy in food and Agriculture – Opportunities for developing Countries, Document Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.

