



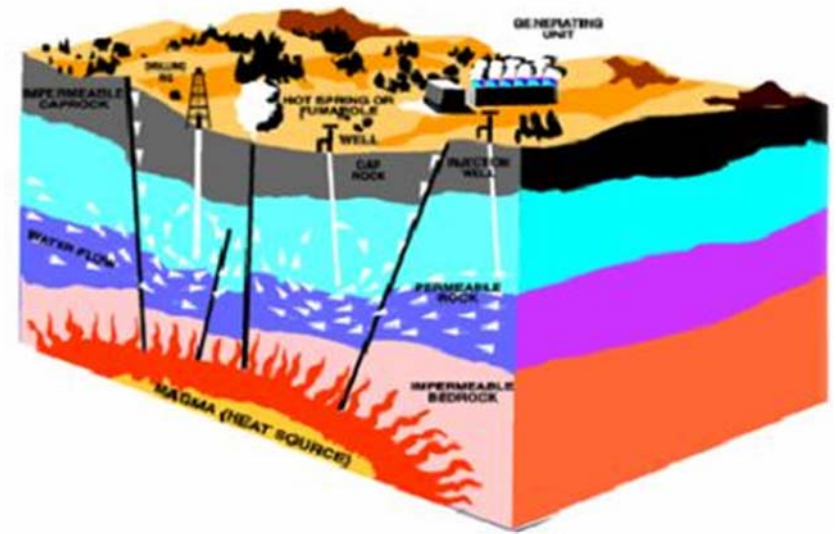
Desarrollo de la energía geotérmica: caso de Costa Rica

Ing. Gravin Mayorga Jiménez
Subgerente Sector Electricidad ICE

Situación de la energía geotérmica en el mundo

DEFINICIÓN

- La energía geotérmica es aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. A varios kilómetros de profundidad en tierras volcánicas se han encontrado cámaras magmáticas, con roca a varios cientos de grados centígrados. En algunos lugares se dan condiciones especiales como capas rocosas porosas e impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión que impiden que éstos salgan a la superficie.
- El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que caben destacar el gradiente geotérmico, el calor radiogénico, etc.



Esquema de un Reservorio Geotérmico

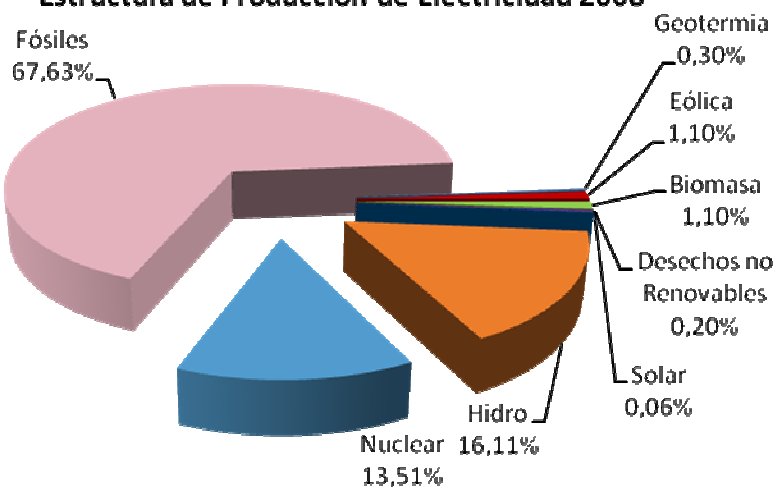
Campo Geotérmico Miravalles
Suministro de Vapor
Agosto, 2001

Figura 3

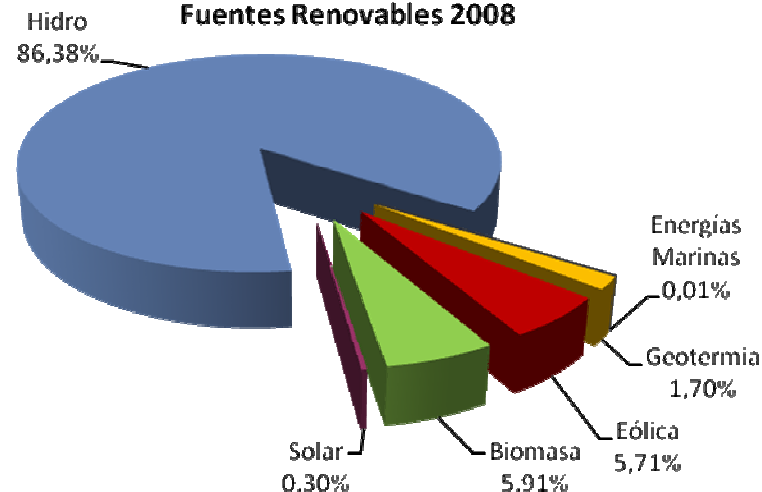


PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y CRECIMIENTO

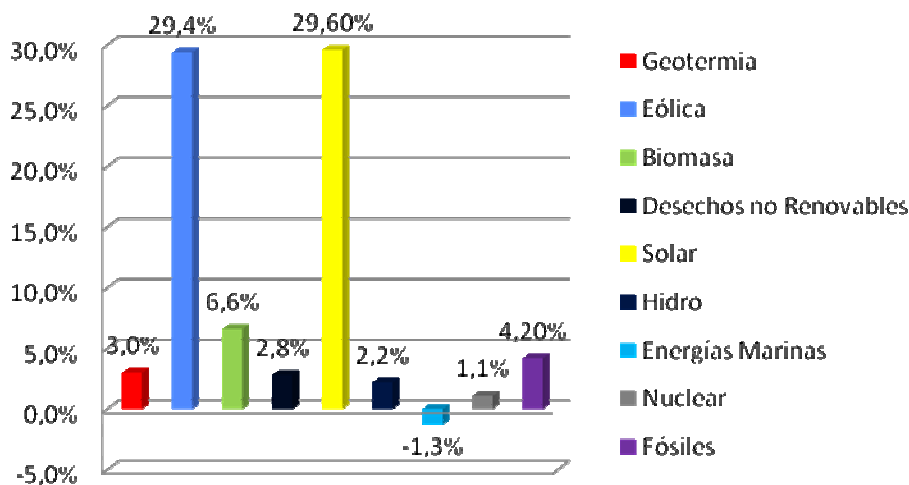
Estructura de Producción de Electricidad 2008



Estructura de Producción de Electricidad de Fuentes Renovables 2008



Porcentaje Crecimiento Promedio 1998 - 2008



POTENCIAL GEOTÉRMICO EN EL MUNDO

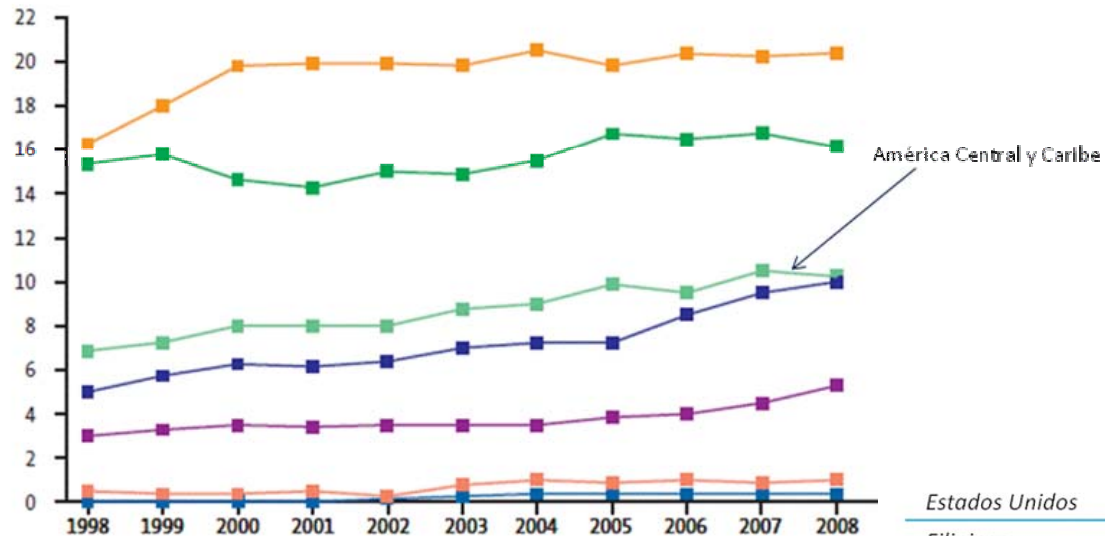
- En muchos países en desarrollo, la demanda de energía está creciendo en forma exponencial.
- Estos países pueden verse beneficiados al utilizar fuentes de energía geotérmica en comparación con países altamente industrializados, siendo una fuente que no ha sido lo suficientemente explotada.
- Los recursos geotérmicos pueden dividirse en dos grupos: recursos de alta temperatura (arriba de 150°C, que son apropiadas para producción de electricidad utilizando técnicas convencionales y recursos de baja temperatura con temperaturas menores a 100°C que pueden ser usadas para aplicaciones directas o si su temperatura es arriba de 100°C, para generación de electricidad usando la técnica de fluido binario.

| | Recursos de alta temperatura adecuados para generación eléctrica | |
|--------------------------|--|--|
| | Tecnología convencional (TWh/año de electricidad) | Tecnología convencional y binaria (TWh/año de electricidad) |
| Europa | 1830 | 3700 |
| Asia | 2970 | 5900 |
| África | 1220 | 2400 |
| América del Norte | 1330 | 2700 |
| América latina | 2800 | 5600 |
| Oceanía | 1050 | 2100 |
| Potencial mundial | 11.200 | 22.400 |

EL ESTADO ACTUAL DE RENOVABLES EN EL MUNDO



PRODUCCIÓN GEOTÉRMICA POR REGIÓN (TWh) Y PAÍSES PRODUCTORES



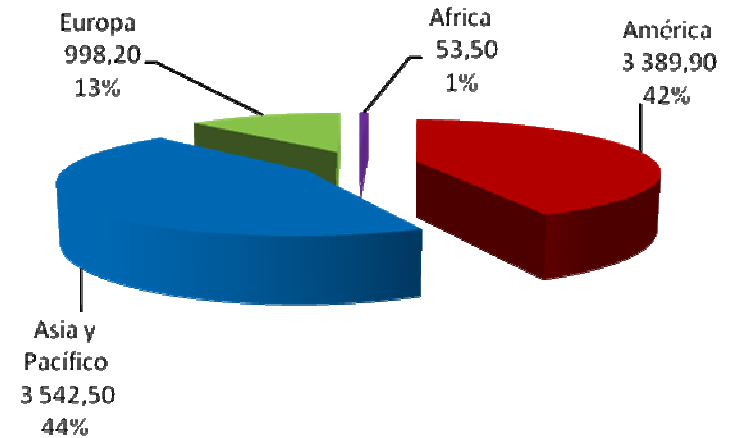
- América del Norte
- Este y Sureste de Asia
- América Central y Caribe
- Europa Occidental
- Oceanía
- África Subsahariana
- Comunidad de Estados Independientes

| | | |
|------------------------|-------------|----------------|
| <i>Estados Unidos</i> | 16,1 | 25,5 % |
| <i>Filipinas</i> | 10,7 | 16,9 % |
| <i>México</i> | 7,1 | 11,1 % |
| <i>Indonesia</i> | 6,8 | 10,7 % |
| <i>Italia</i> | 5,5 | 8,7 % |
| <i>Nueva Zelanda</i> | 4,2 | 6,6 % |
| <i>Islandia</i> | 4,0 | 6,4 % |
| <i>Japón</i> | 2,8 | 4,4 % |
| <i>El Salvador</i> | 1,4 | 2,2 % |
| <i>Costa Rica</i> | 1,1 | 1,8 % |
| <i>Resto del Mundo</i> | 3,6 | 5,7 % |
| Mundo | 63,4 | 100,0 % |

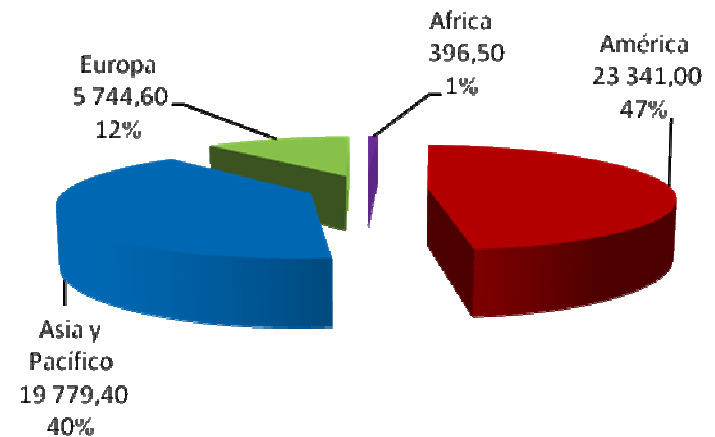
USO ENERGÍA GEOTÉRMICA POR REGIÓN

- Países en desarrollo están considerando la explotación de fuentes de energía renovables, debido al incremento en la demanda de energía, así como por la disponibilidad y costos de los combustibles fósiles.
- Una opción es la utilización de recursos geotérmicos de alta entalpía, que generalmente se encuentran localizados en regiones volcánicas jóvenes.
- En Latinoamérica, los campos de alta temperatura están relacionados con el vulcanismo de la Cordillera del Andes y su prolongación en Centro América, así como en varias de las islas del Mar Caribe.
- África es la región con el menor potencial geotérmico.
- En Asia y las islas del Pacífico, los más grandes recursos geotérmicos de alta temperatura se encuentran en Indonesia y las Filipinas.

Capacidad Instalada (MW)



Generación (GWh/año)



USO ENERGÍA GEOTÉRMICA POR PAÍS

| País | Capacidad Geotermia Instalada | Electricidad Geotermia Generada | Porcentaje de la Producción total | Porcentaje de la Producción Acumulado | Factor de utilización medio |
|---------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| | MW | GWh | % | % | |
| EEUU | 2,923.50 | 15,883 | 26.09 | 26.09 | 61.98 |
| Filipinas | 1,969.70 | 12,596 | 20.69 | 46.78 | 72.96 |
| Indonesia | 992 | 6,344 | 10.42 | 57.20 | 72.96 |
| Mexico | 953 | 6,094 | 10.01 | 67.21 | 72.96 |
| Italia | 810.5 | 5,183 | 8.51 | 75.73 | 72.96 |
| Japón | 535.2 | 3,422 | 5.62 | 81.35 | 72.96 |
| Nueva Zelanda | 471.6 | 3,016 | 4.96 | 86.30 | 72.96 |
| Islandia | 421.2 | 2,693 | 4.42 | 90.73 | 72.96 |
| El Salvador | 204.2 | 1,306 | 2.15 | 92.87 | 72.97 |
| Costa Rica | 162.5 | 1,039 | 1.71 | 94.58 | 72.96 |
| Kenia | 128.8 | 824 | 1.35 | 95.93 | 72.99 |
| Nicaragua | 87.4 | 559 | 0.92 | 96.85 | 72.97 |
| Rusia | 79 | 505 | 0.83 | 97.68 | 72.93 |
| Guinea | | | | | |
| Papau | 56 | 358 | 0.59 | 98.27 | 72.94 |
| Guatemala | 53 | 339 | 0.56 | 98.82 | 72.97 |
| Turkia | 38 | 243 | 0.40 | 99.22 | 72.96 |
| China | 27.8 | 178 | 0.29 | 99.52 | 73.05 |
| Portugal | 23 | 147 | 0.24 | 99.76 | 72.92 |
| Francia | 14.7 | 94 | 0.15 | 99.91 | 72.96 |
| Alemania | 8.4 | 54 | 0.09 | 100.00 | 73.34 |
| Total | 9,960 | 60,877 | 100 | | |

- Países con mayor potencia instalada: EEUU con 2923 MW, Filipinas con 1969 MW, Indonesia y México con 950 MW, Italia con 810 y Japón 535 MW; entre los 6 generan el 80% de la energía geotérmica mundial.
- Países con mayor contribución de energía geotérmica a su sistema energético son Filipinas con el 24% de su energía total a partir de la geotermia, el Salvador con el 17%, Kenia con el 13%, Nueva Zelanda con 5%, Islandia con 7%, y México con 4.4%.

Situación de la energía geotérmica en Centroamérica

CAMPOS GEOTÉRMICOS EN CENTRO AMÉRICA



Campos Geotérmicos

Costa Rica

- Miravalles
- Pailas

Nicaragua

- Momotombo
- San Jacinto - Tizate
- El Hoyo
- Volcán Casitas

El Salvador

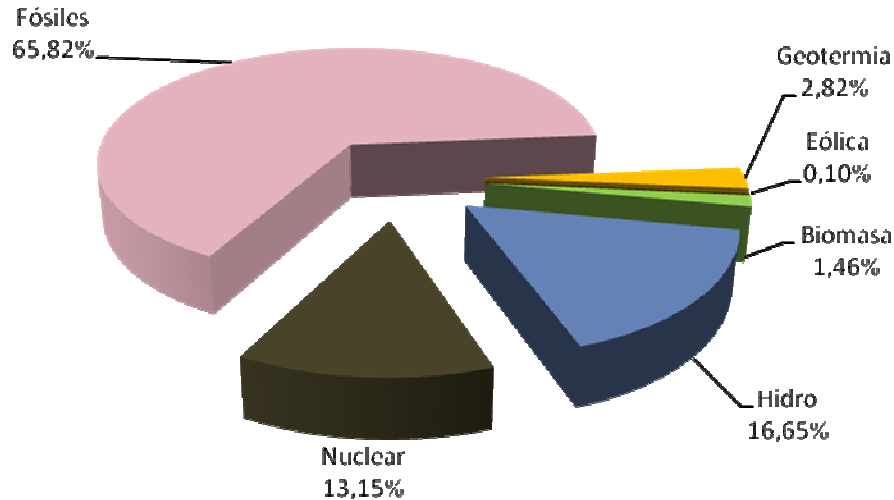
- Ahuachapan
- Berlín
- San Vicente
- Chinameca

Guatemala

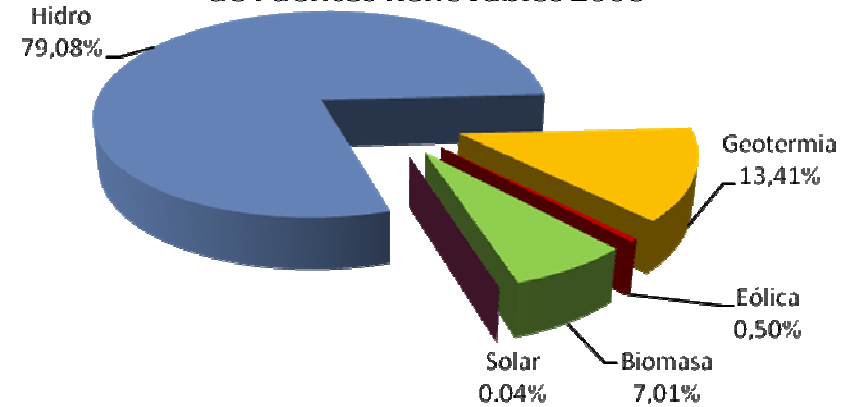
- Zunil
- Amatitlán
- San Marcos
- Tecuamburro

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y CRECIMIENTO

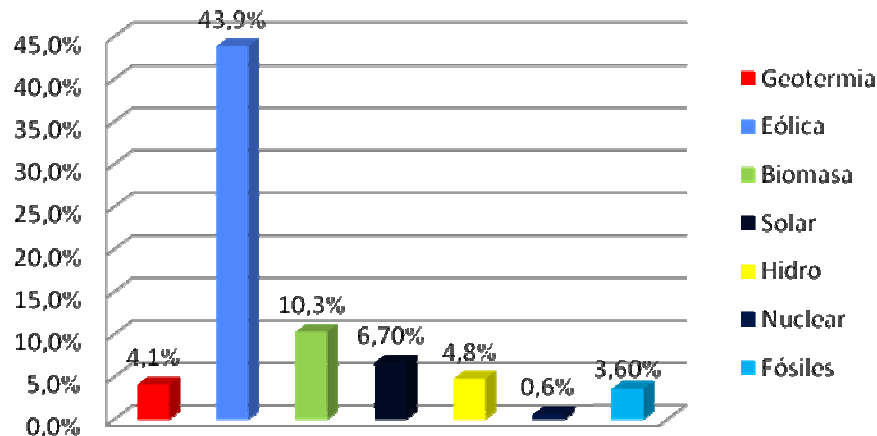
Estructura de Producción de Electricidad 2008



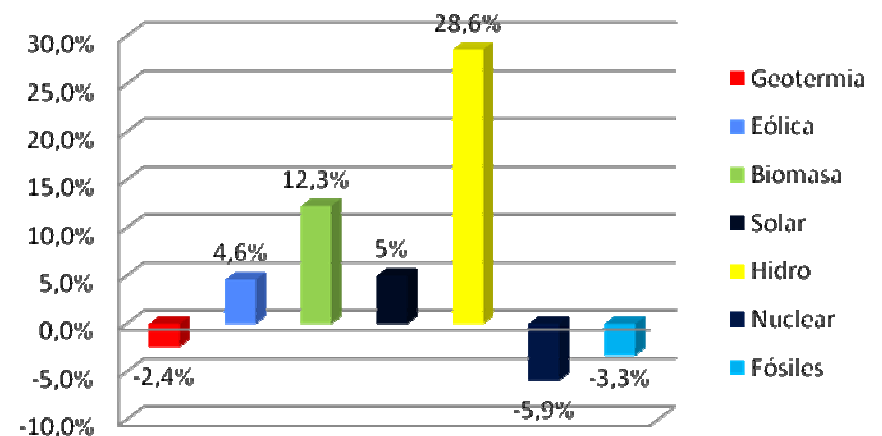
Estructura de Producción de Electricidad de Fuentes Renovables 2008



Porcentaje Crecimiento Promedio 1998 - 2008

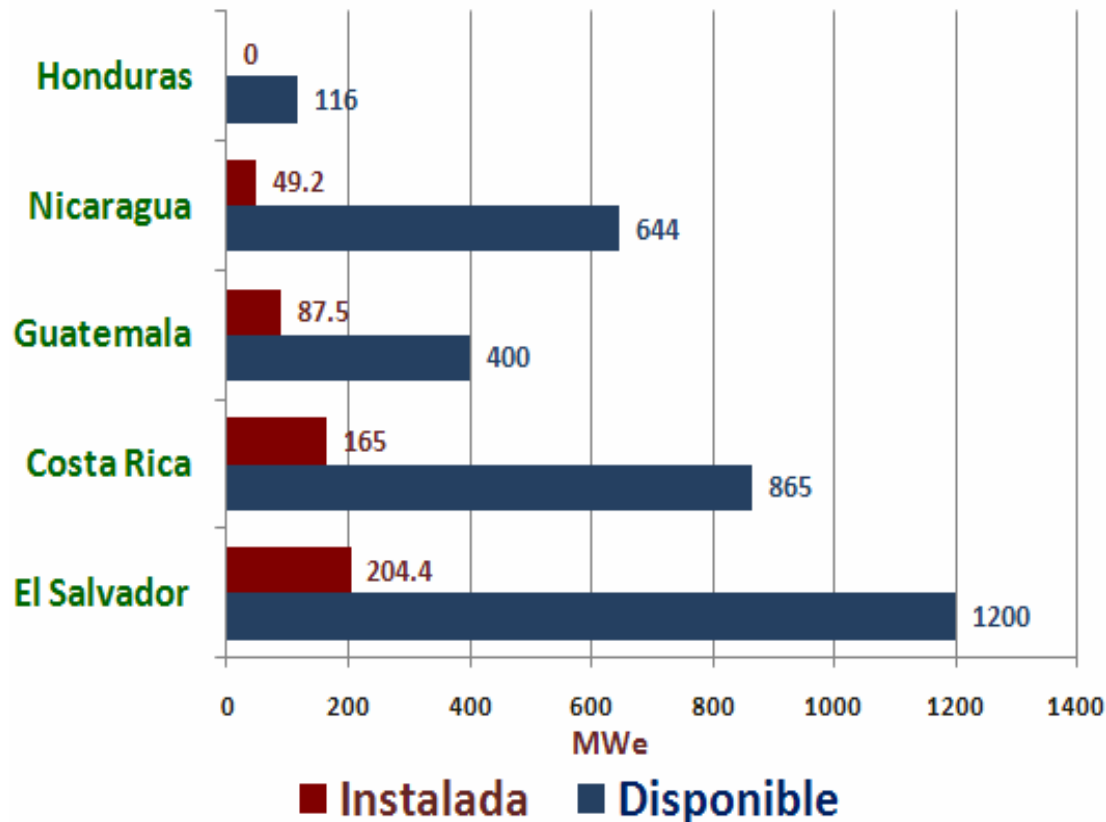


Porcentaje Crecimiento Promedio 2007 - 2008



CENTROAMÉRICA: SITUACIÓN ACTUAL

Potencia disponible vrs capacidad instalada



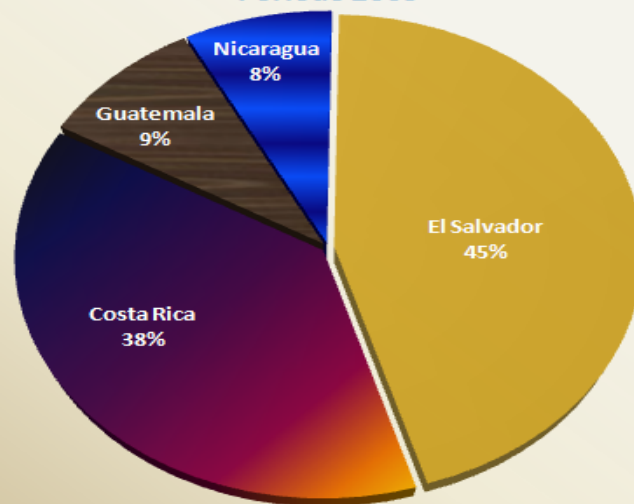
- A pesar de que en Centroamérica existe un alto potencial de energía geotérmica, en la actualidad solo se explota el 16%.
- El país que proporcionalmente más ha explotado este recurso es Guatemala con un 22%. El Salvador y Costa Rica utilizan alrededor de un 18% y Nicaragua un 8%.
- En el caso de Honduras, a pesar de que tiene un potencial estimado de 116 MW aun no ha iniciado su explotación comercial.

CENTROAMÉRICA: SITUACIÓN ACTUAL

Capacidad geotérmica instalada en Centro América
Período 2009. (MWe)



Porcentaje de generación geotérmica en Centro América
Período 2009

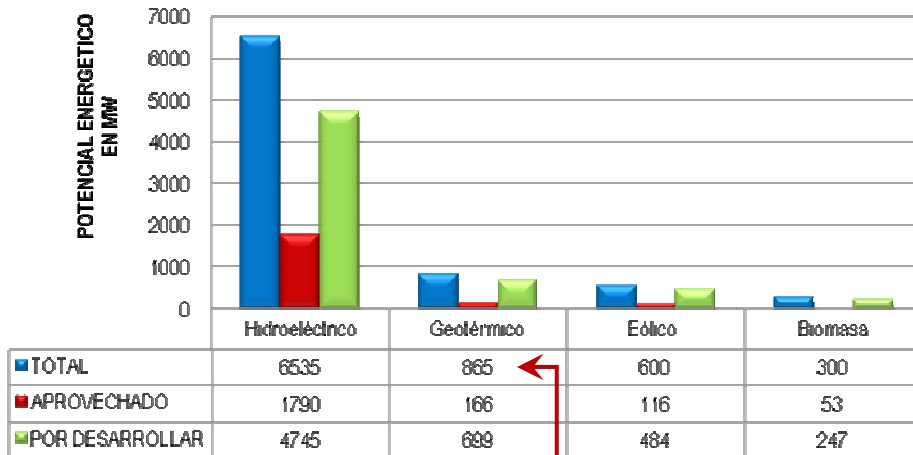


- De la totalidad de la energía geotérmica instalada en Centroamérica, El Salvador y Costa Rica tienen alrededor del 73 %. Guatemala y Nicaragua el 27% restante.
- Con respecto a la generación El Salvador y Costa Rica generan el 83% y el restante 17% lo producen Guatemala y Nicaragua.

Situación de la energía geotérmica en Costa Rica

COSTA RICA: POTENCIAL

CUADRO COMPARATIVO DEL POTENCIAL SEGUN LA FUENTE ENERGETICA



Una separación

Situación Actual

Potencial Total: **8 300 MW (100%)**

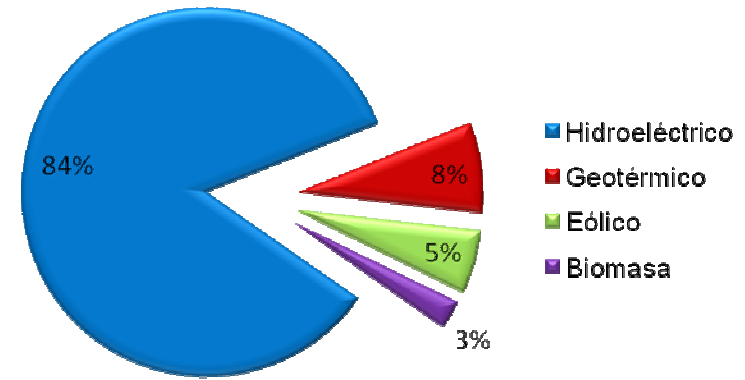
Potencia Aprovechada: **2 125 MW (26%)**

Potencia por desarrollar: **6 175 MW (74%)**

DISTRIBUCION DEL POTENCIAL ENERGETICO DE COSTA RICA EN MW



APROVECHAMIENTO ACTUAL SEGÚN FUENTE

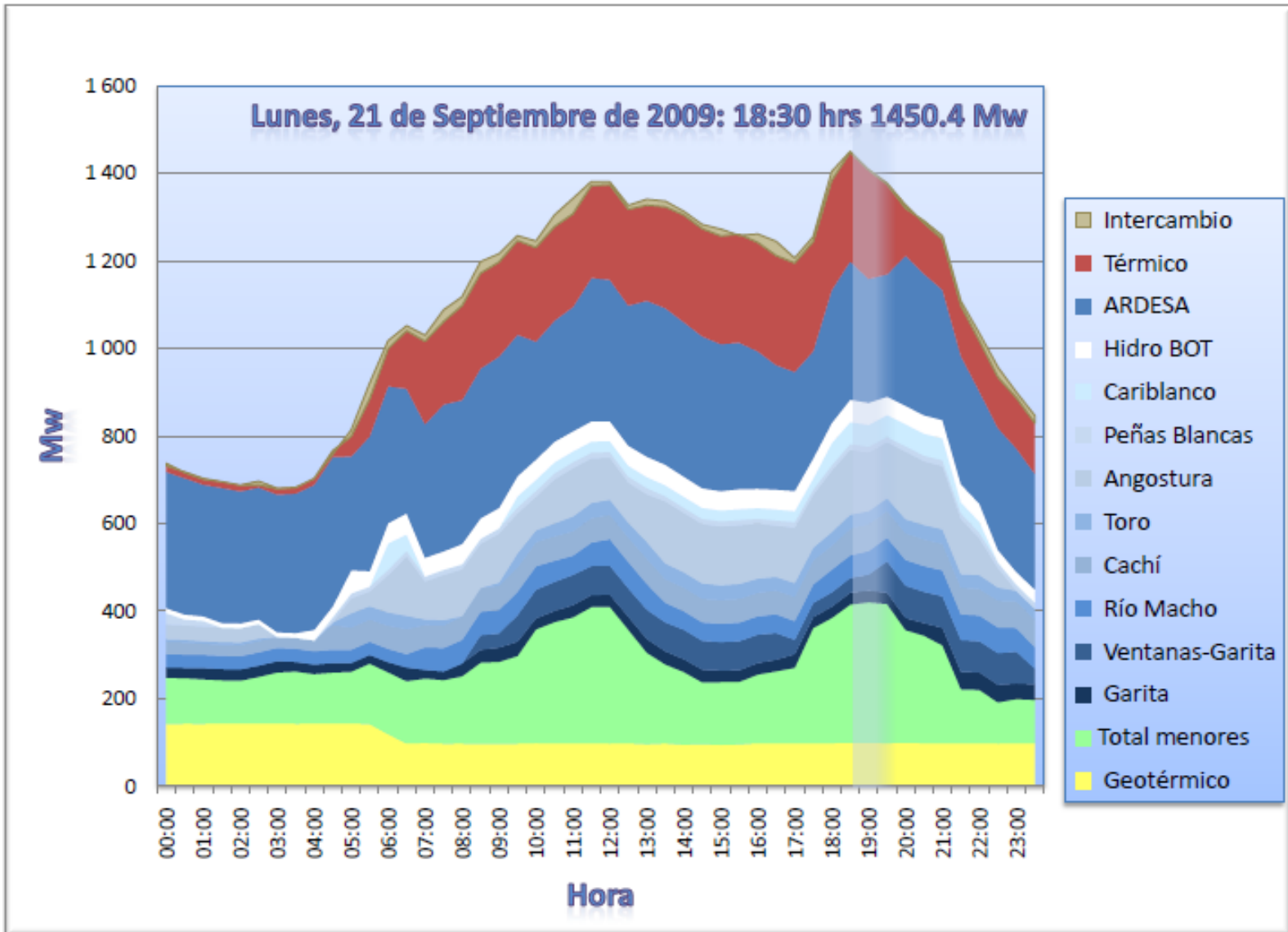


COSTA RICA: POTENCIAL GEOTÉRMICO

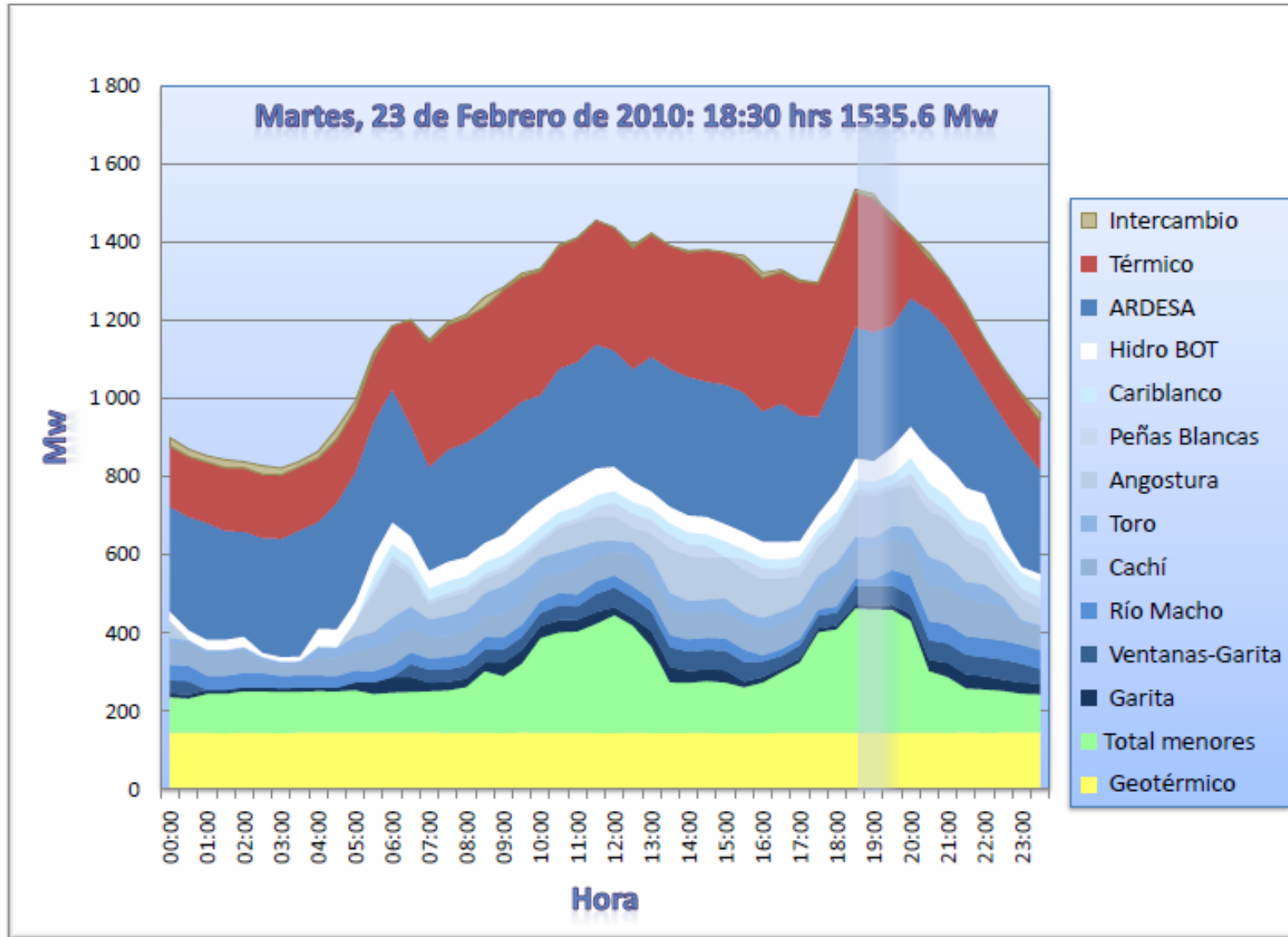
| | 1 SEPARACIÓN | 2 SEPARACIONES | PROMEDIO |
|------------------|--------------|----------------|------------|
| Miravalles | 164 | 213 | 189 |
| Rincón de la | 137 | 177 | 157 |
| Irazú- Turrialba | 101 | 130 | 115 |
| Tenorio | 97 | 123 | 110 |
| Platanar | 97 | 122 | 109 |
| Poás | 90 | 116 | 103 |
| Barva | 85 | 109 | 97 |
| Fortuna | 61 | 77 | 69 |
| Orosi-Cacao | 33 | 41 | 37 |
| TOTAL | 865 | 1108 | 986 |

- Potencial geotérmico instalable estimado:
 - para plantas de una etapa de vaporización: 865 MW
 - para plantas dos etapas de vaporización: 1108 MW.
- De ese potencial, se ha desarrollado el campo Miravalles (163,5 MW) y parcialmente el campo Pailas (se está instalando planta de 35 MW), para un total de 198 MW que equivale al 23% del potencial estimado para plantas de una etapa de vaporización y al 18% para plantas de dos etapas de vaporización.
- A excepción de Miravalles y parcialmente Pailas, los demás recursos de alta temperatura están ubicados dentro de Parques Nacionales.

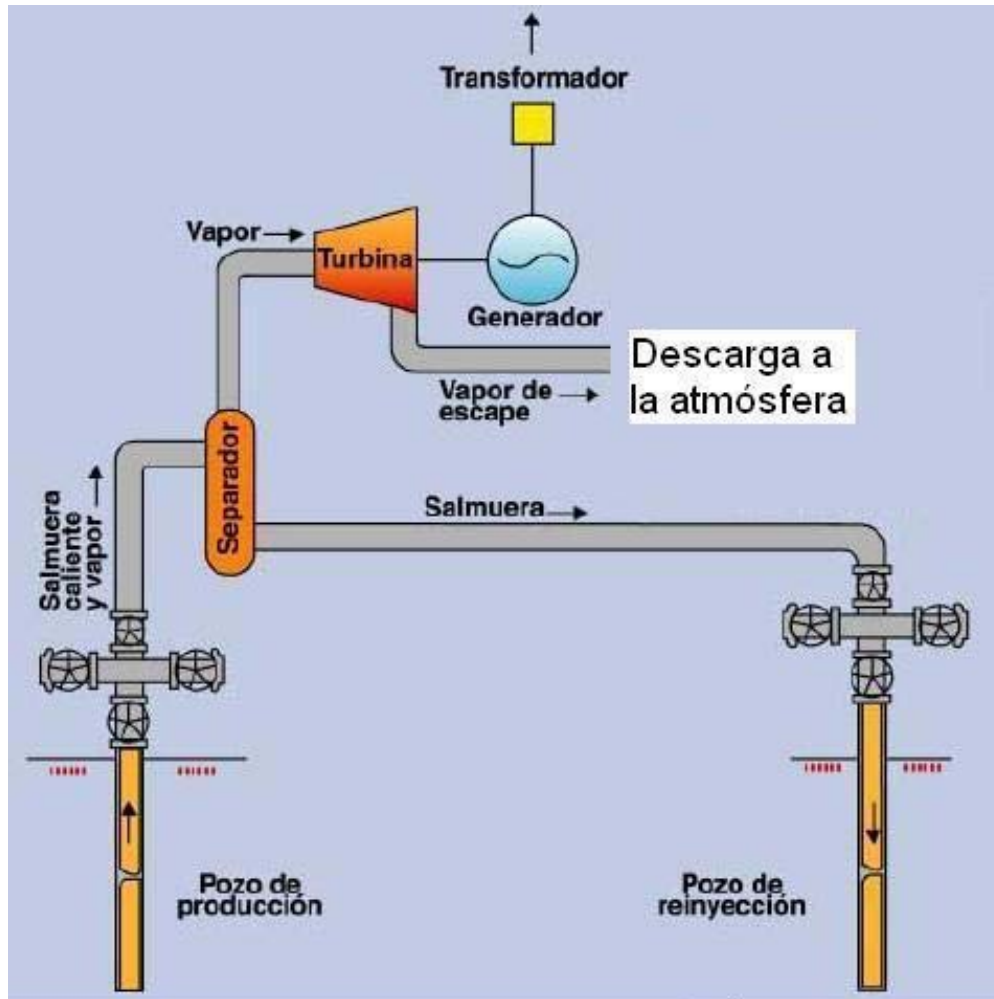
COSTA RICA: CURVA DE PRODUCCIÓN TÍPICA INVIERNO



COSTA RICA: CURVA DE PRODUCCIÓN TÍPICA VERANO



COSTA RICA: TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

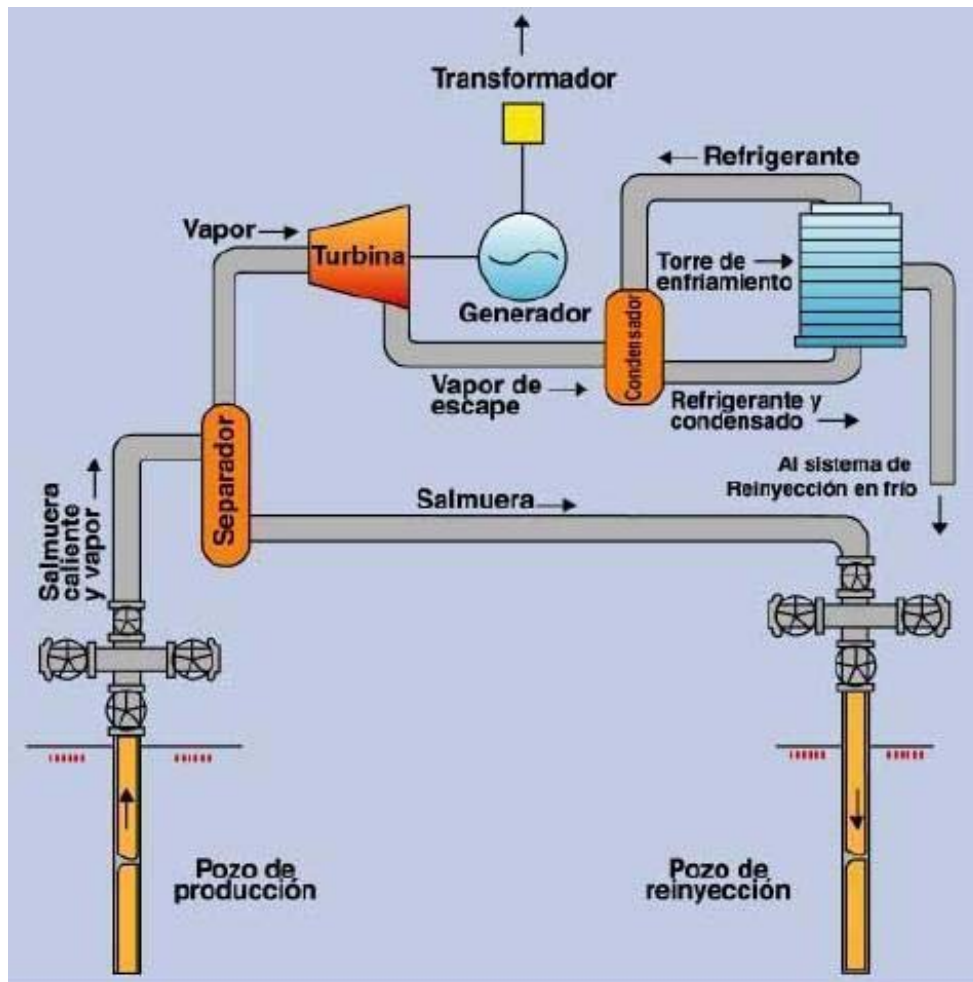


CICLO DE CONTRAPRESIÓN

Ciclo de Contrapresión

- El fluido procedente de los pozos de producción, es llevado a una etapa de separación donde se obtiene una fase líquida (salmuera) que es enviada a reinyección en caliente y una fase gaseosa que es enviada a la turbina. Una vez que el fluido pasa por la turbina es descargado a la atmósfera directamente.

COSTA RICA: TECNOLOGÍAS UTILIZADAS



CICLO DE CONDENSACIÓN

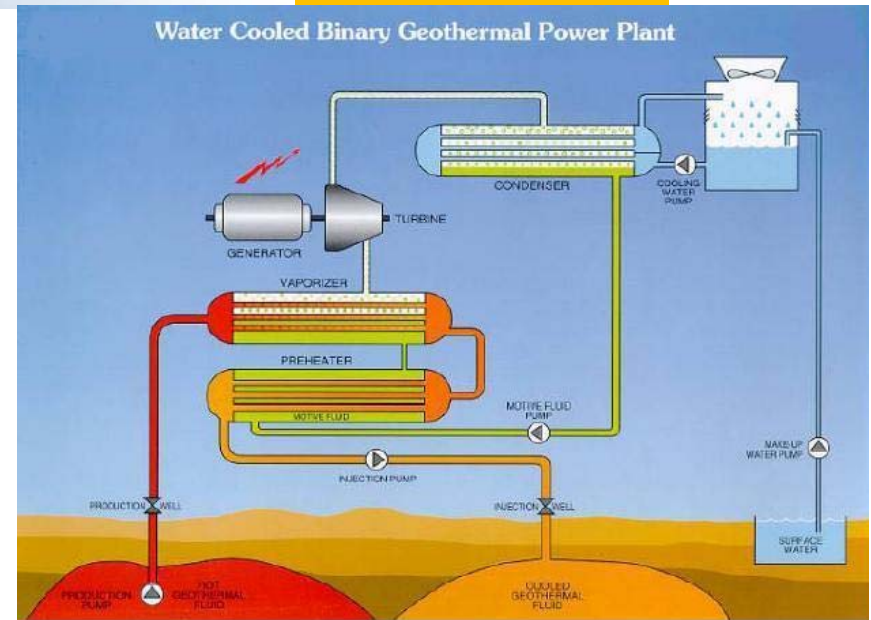
Ciclo de Condensación

- El fluido procedente de los pozos de producción, pasa a una etapa de separación donde se obtiene una fase líquida (salmuera) que es enviada a reinyección en caliente y una fase gaseosa que es enviada a la turbina y descargada luego al condensador. El fluido geotérmico en estado líquido es bombeado a la torre de enfriamiento y reutilizado de nuevo en el condensador como agente refrigerante.
- El remanente de la torre de enfriamiento es enviado a la reinyección en frío.
- La eficiencia de este ciclo es el doble al ciclo de contrapresión.

COSTA RICA: TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

Ciclo Binario

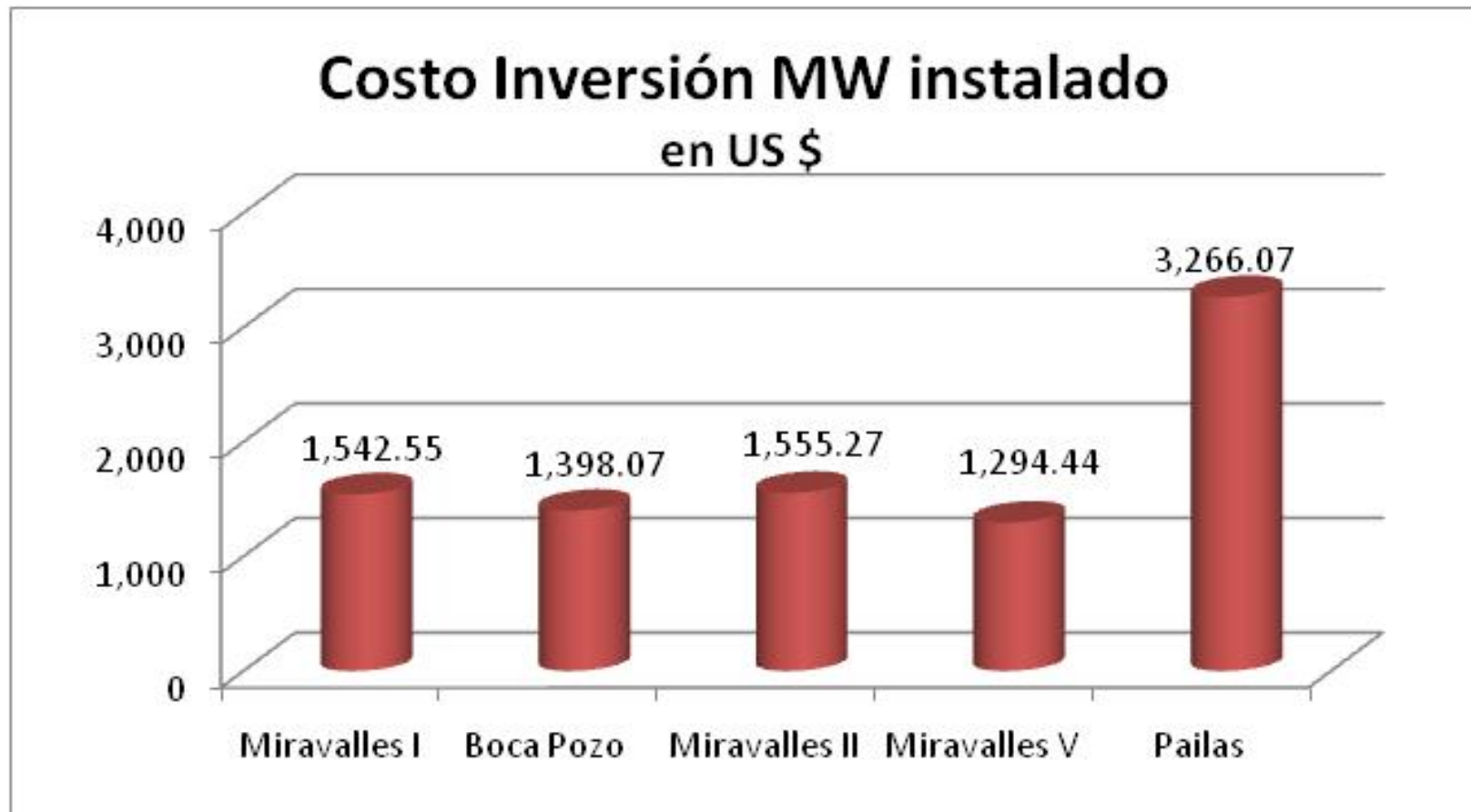
- El fluido geotérmico es llevado hasta intercambiadores de calor, donde ceden su energía a un segundo fluido que será el fluido motriz (pentano para el caso de Costa Rica). El fluido geotérmico es enviado a reinyección en caliente a una temperatura tal que aún no se presente la precipitación del sílice.
- El fluido motriz es bombeado a un precalentador para luego pasar al evaporador donde adquiere las condiciones para pasar a la turbina y luego al condensador y de vuelta a las bombas.
- La condensación del fluido motriz puede darse de dos maneras: utilizando un sistema con agua y torre de enfriamiento húmeda o mediante condensador enfriado por aire.



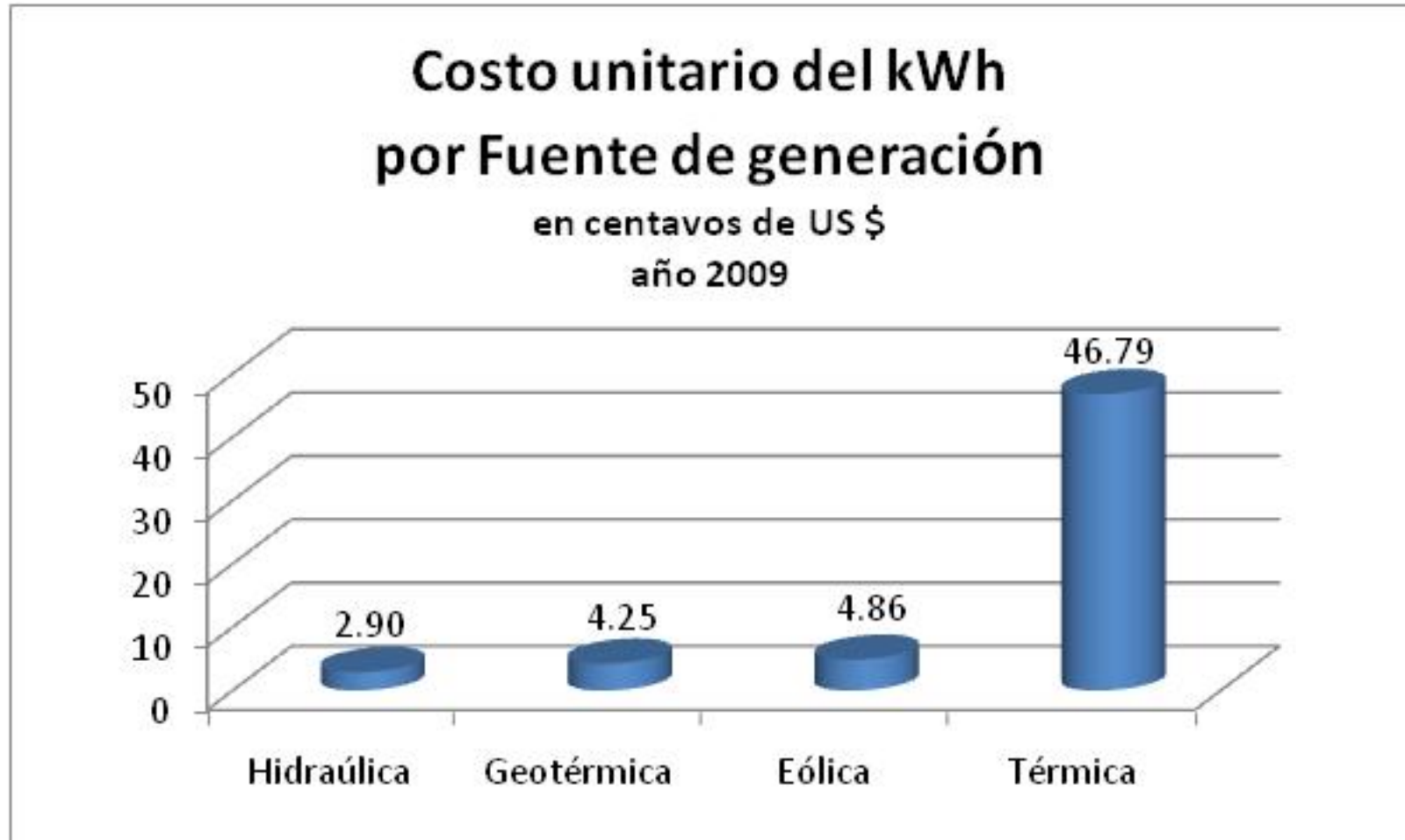
CICLO BINARIO

- En el proyecto Las Pailas el fluido geotérmico es separado en sus fases gaseosa y líquida. La fase líquida es utilizada en el precalentador, mientras que la fase gaseosa se lleva a los evaporadores.
- El proyecto geotérmico Miravalles V, es un ciclo de fondo que utiliza únicamente la energía de la salmuera geotérmica que va a reinyección en caliente.

COSTO INVERSIÓN MW INSTALADO EN US \$

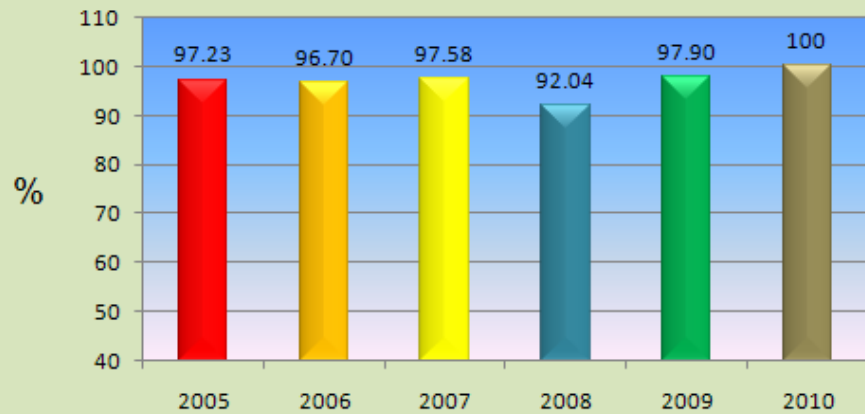


COSTO UNITARIO DEL KWH POR FUENTE DE GENERACIÓN EN CENTAVOS DE US \$ AÑO 2009

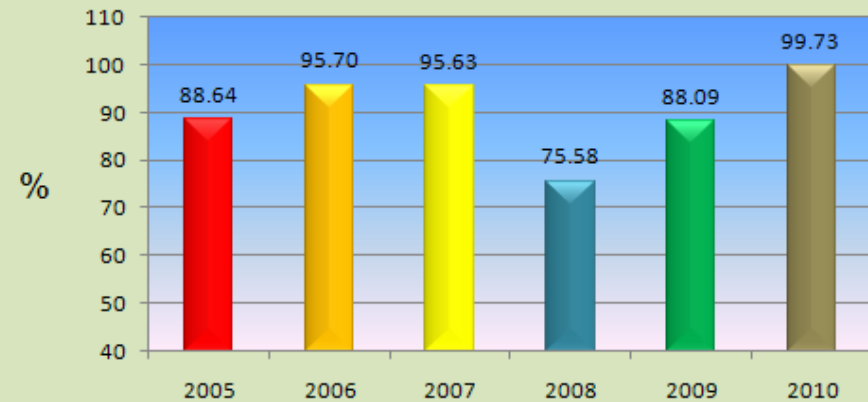


DISPONIBILIDAD CENTRO DE GENERACIÓN MIRAVALLES 2005-2010

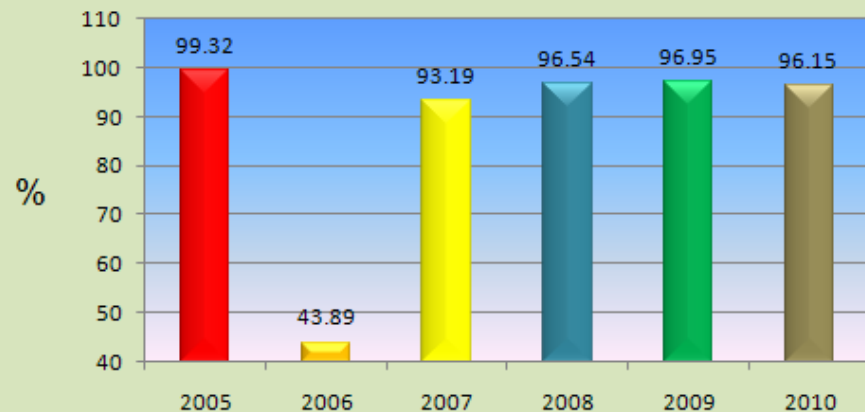
**Disponibilidad Miravalles I
2005-2010**



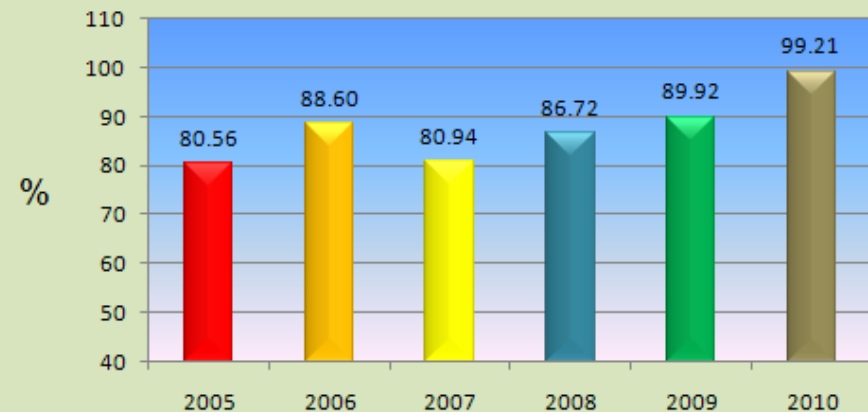
**Disponibilidad Miravalles II
2005-2010**



**Disponibilidad Boca Pozo
2005-2010**

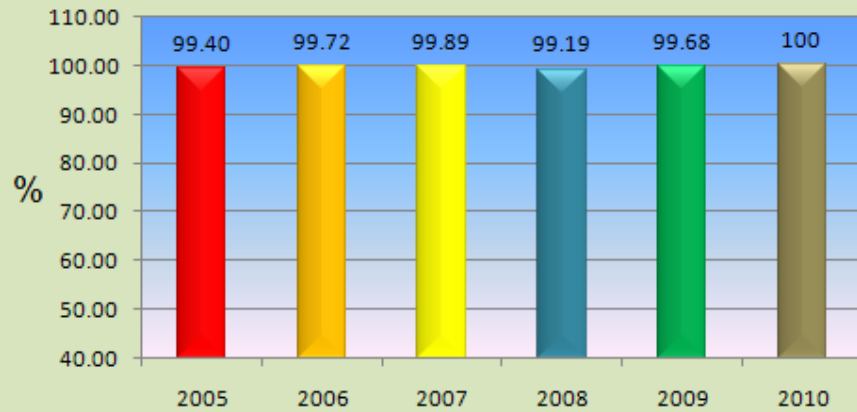


**Disponibilidad Miravalles V
2005-2010**

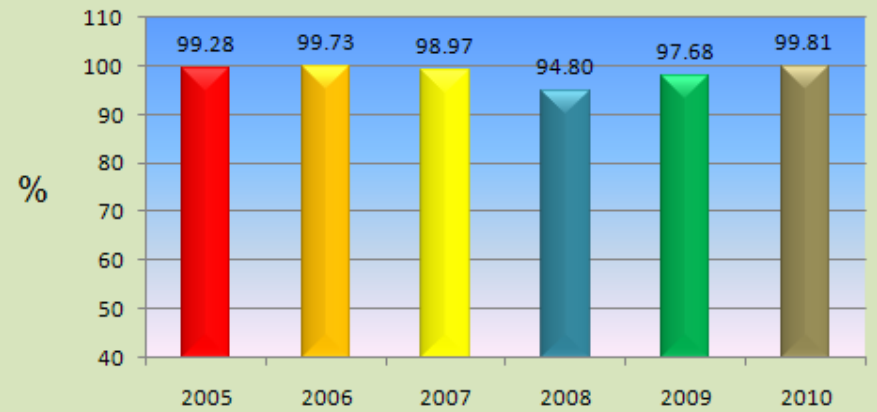


CONFIABILIDAD CENTRO DE GENERACIÓN MIRAVALLS 2005-2010

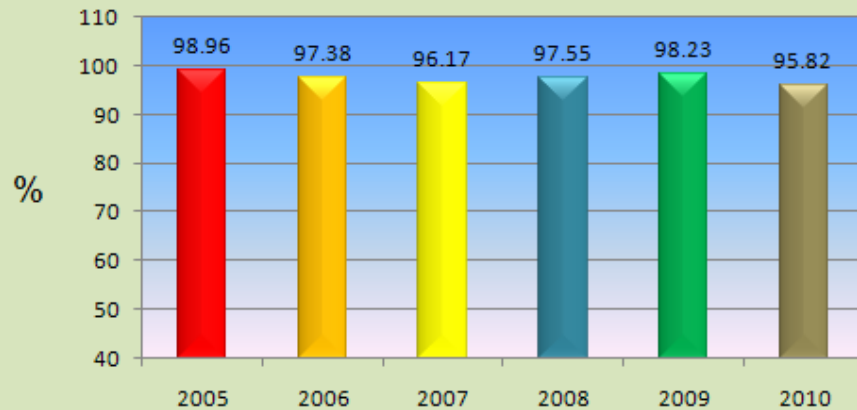
**Confiabilidad Miravalles I
2005-2010**



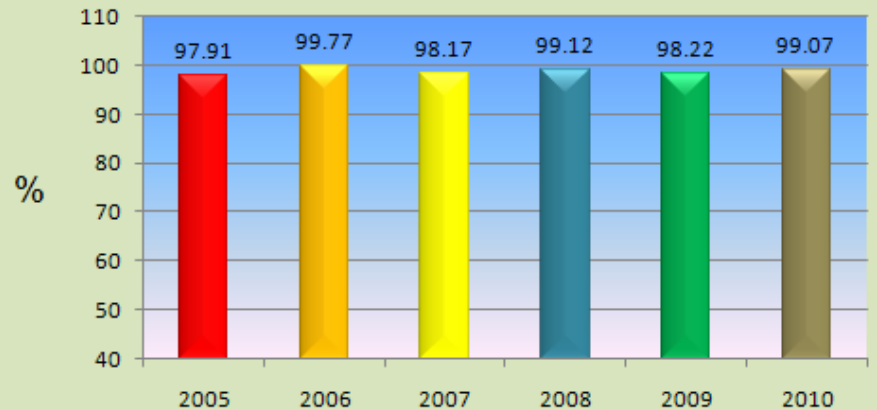
**Confiabilidad Miravalles II
2005-2010**



**Confiabilidad Boca Pozo
2005-2010**



**Confiabilidad Miravalles V
2005-2010**



CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN CAMPO GEOTÉRMICO

- Se han reforestado aproximadamente 350 hectáreas y se ha producido una sucesión de bosque en 1 080 hectáreas.



COSTA RICA: SITUACIÓN ACTUAL

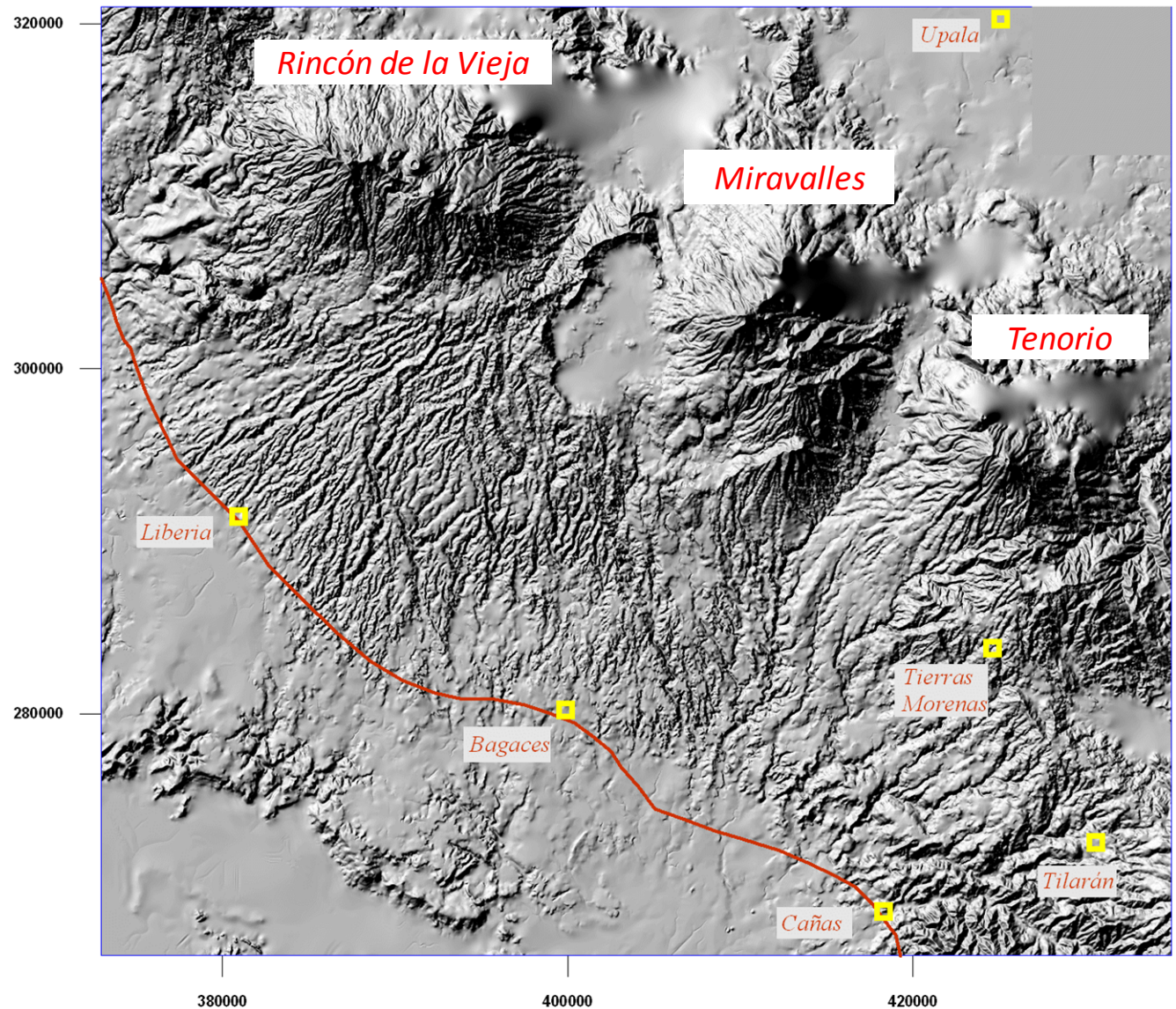


- Ubicación: extremo sur del istmo centroamericano.
- Extensión: 51100 km².
- Resultado de la subducción de la placa Cocos debajo de la del Caribe a lo largo de la fosa mesoamericana.
- Atravesada de NO a SE por una cadena de montañas. Sectores NO y Central son en parte resultado de numerosas etapas de actividad volcánica de edad Cuaternaria y Reciente.

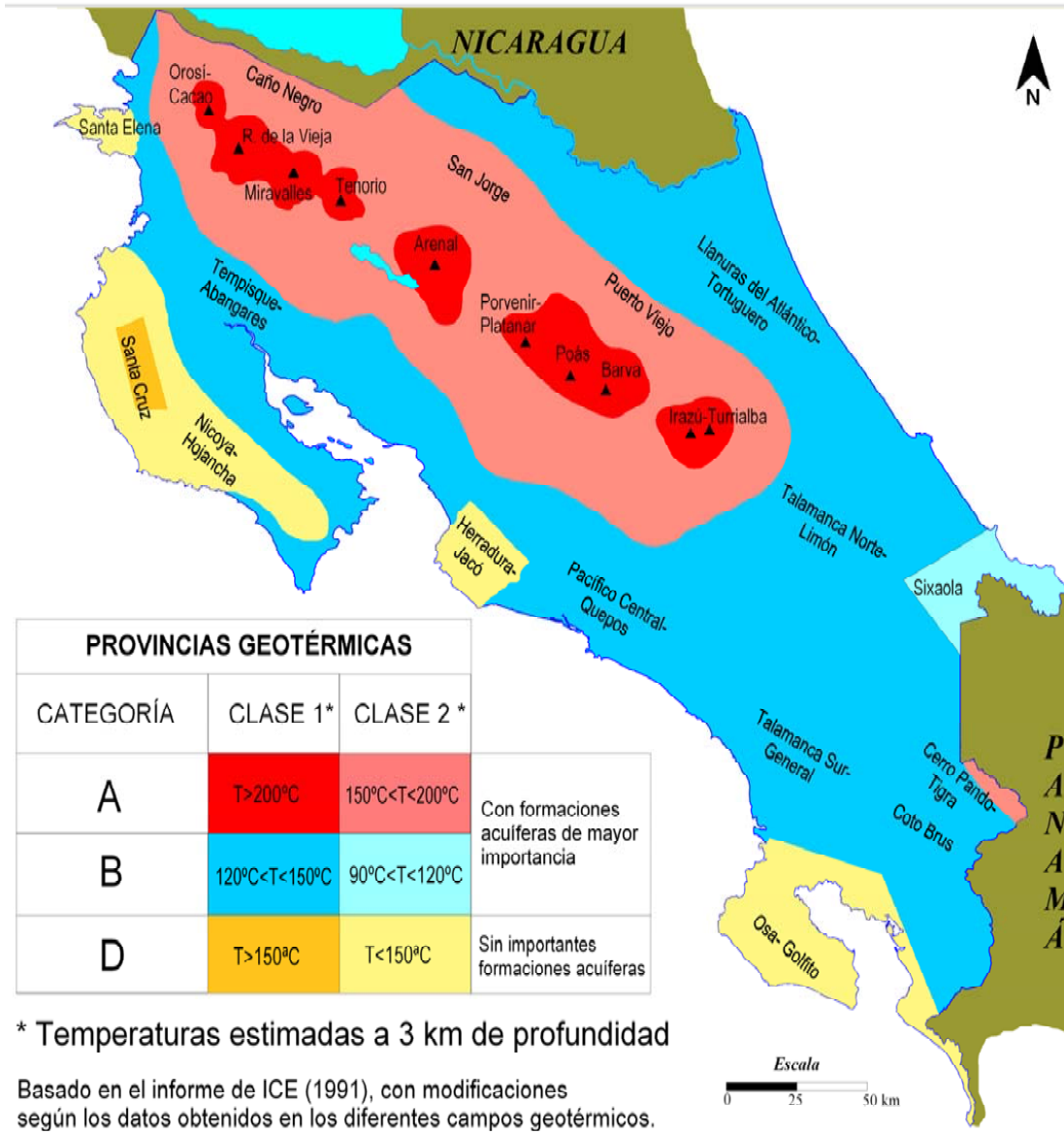
Modificado de Astorga et al., 1991

COSTA RICA: SITUACIÓN ACTUAL

- Los primeros estudios se realizaron en los años setenta, los cuales concluyeron con el descubrimiento del campo geotérmico Miravalles.

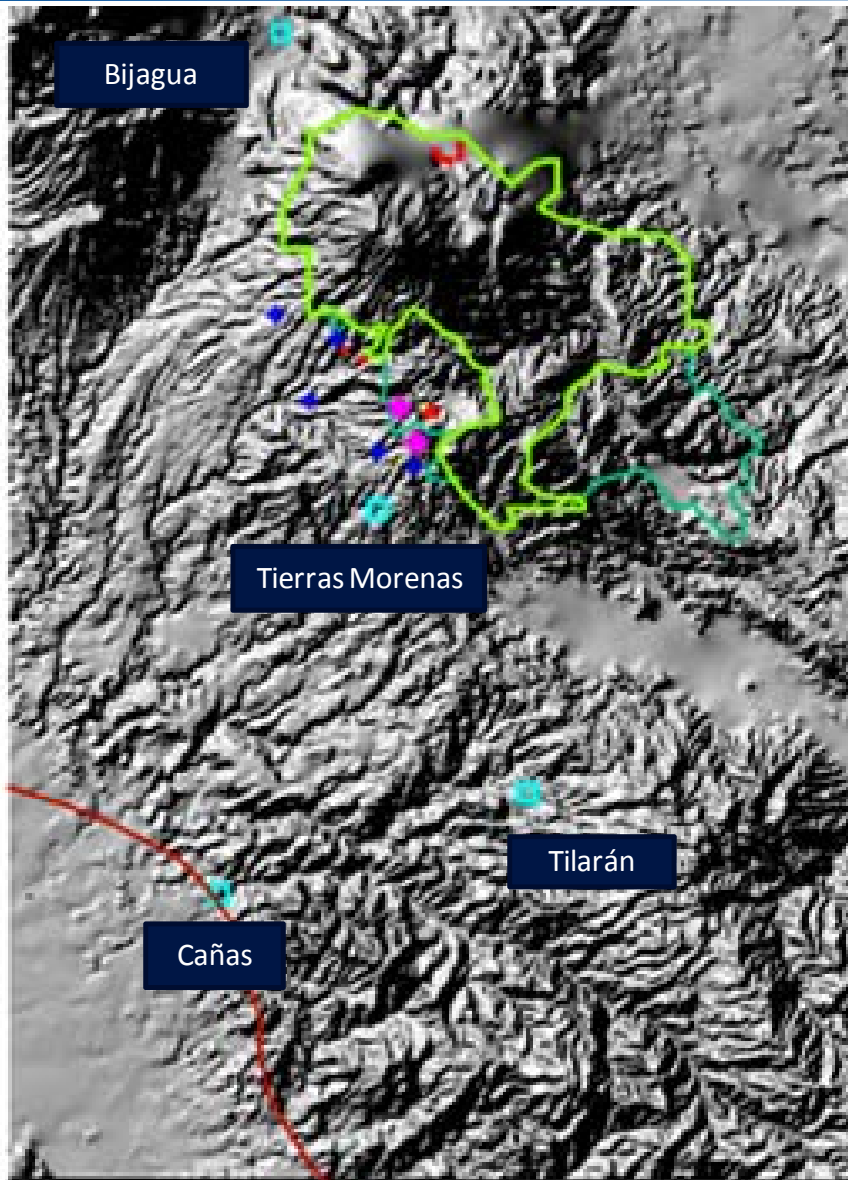


COSTA RICA: SITUACIÓN ACTUAL



- 1987-1991, con la ayuda del gobierno de Italia y de las Naciones Unidas se hicieron dos campañas de estudios.
- 1-“Estudios de Reconocimiento y Pre-factibilidad Geotérmica de la República de Costa Rica”, la cual se dividió en 2 fases:
 - Primera fase: “Estudio de Reconocimiento”.
 - Objetivos primordiales fueron:
 - Subdividir el país en zonas de interés geotérmico.
 - Delimitar las áreas más favorables y
 - Seleccionar una de ellas para realizar un estudio de pre-factibilidad

COSTA RICA: SITUACIÓN ACTUAL



- **Segunda fase: “Estudio de pre-factibilidad del área del Tenorio”**
- Área de estudio: zona circundante al volcán Tenorio.
- Resultado: ubicación de una zona con vocación geotérmica entre el flanco sur del volcán Tenorio y Tierras Morenas, siendo el área de mayor interés la comprendida entre el cerro Jilguero y la cabecera del río San Lorenzo.
- La factibilidad técnico económica de esta zona, realizada en 1999, y que incluyó la perforación de dos pozos, el PGT-1 (2473 m.) y el PGT-2 (1345 m.), se limitó a la exploración en la zona marginal de anomalías previamente localizadas, con resultados negativos, esto debido a la inclusión de la zona de interés dentro del parque nacional Volcán Tenorio.

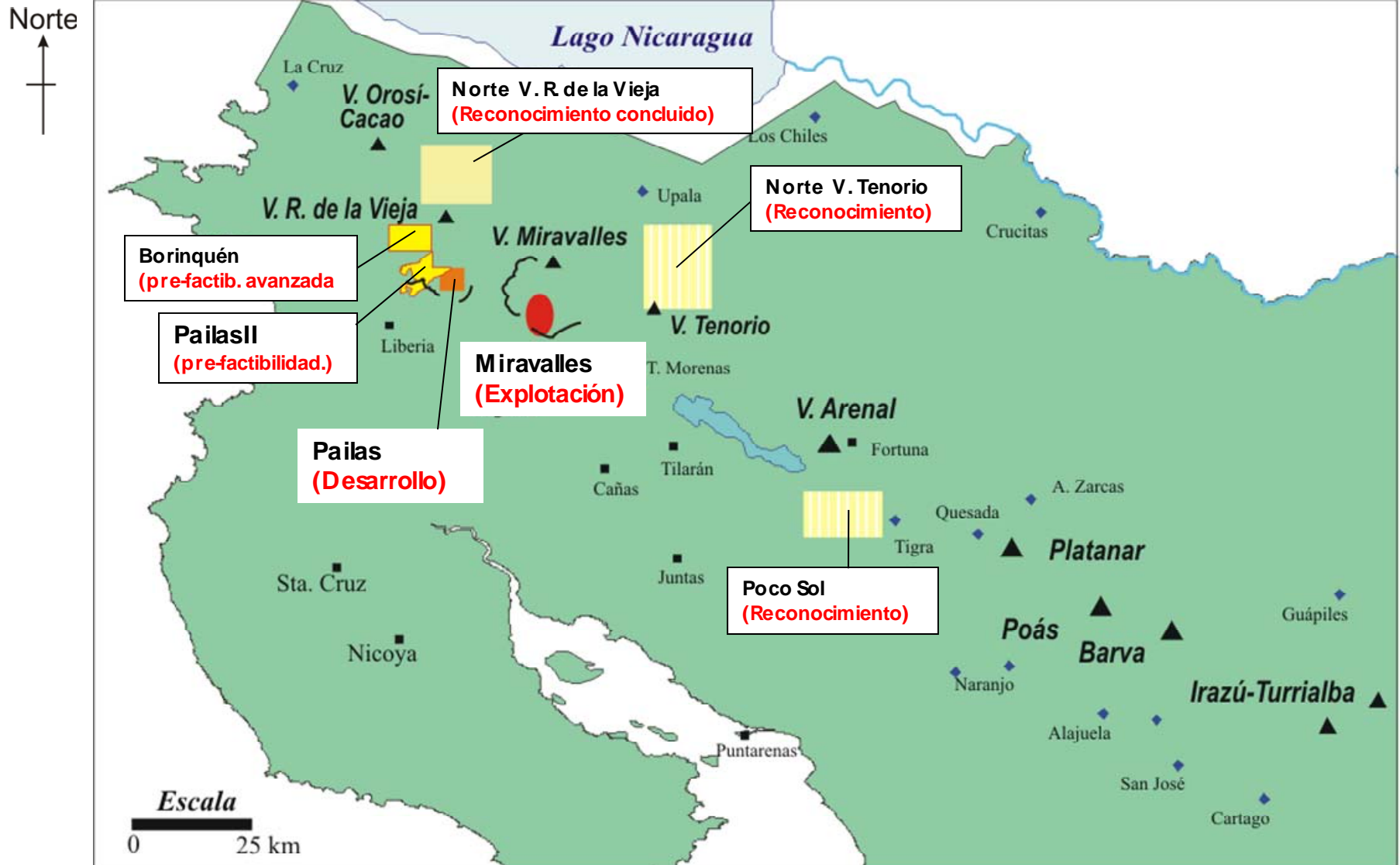
COSTA RICA: SITUACIÓN ACTUAL

“Evaluación del Potencial Geotérmico de Costa Rica”.

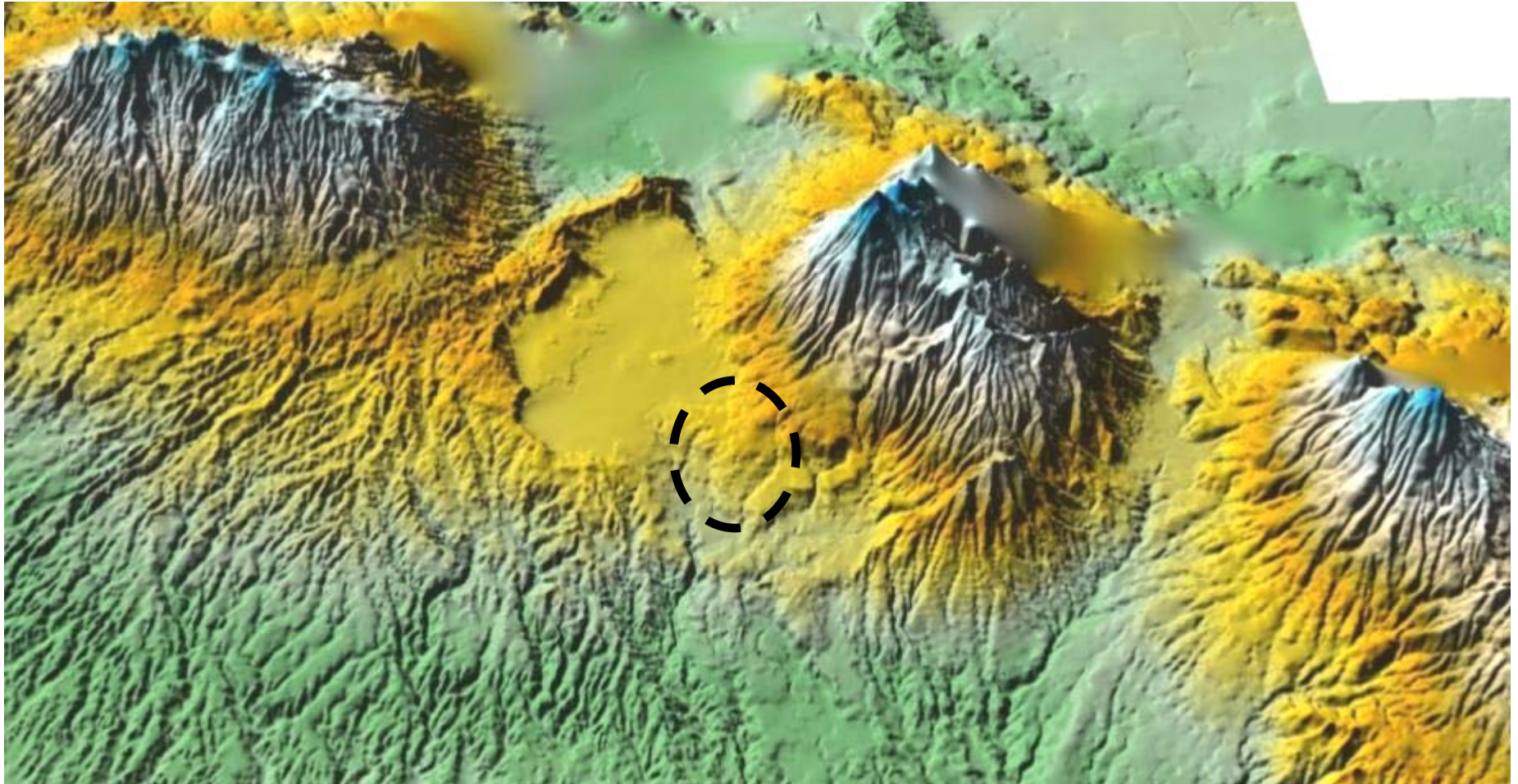
- Tomando como base los estudios de reconocimiento se realizó la evaluación del potencial geotérmico de Costa Rica, lo cual permitió:
 - Subdividir el país en provincias y en áreas geotérmicas homogéneas.
 - Estimar los recursos y reservas de acuerdo a diferentes rangos de temperatura para separar aquellos que pueden ser usados en la generación de electricidad de los que solamente pueden dar lugar a aprovechamientos de tipo directo.
 - Estimar la capacidad eléctrica de los recursos de alta entalpía que pueden abastecer la operación de una planta por períodos no inferiores a 25 años.

| Capacidad Geotermoeléctrica Instalable en Costa Rica | |
|--|--------------|
| Área | 1 Separación |
| Miravalles | 164 |
| Rincón de la Vieja | 137 |
| Irazú-Turrialba | 101 |
| Tenorio | 97 |
| Platanar | 97 |
| Poas | 90 |
| Barba | 85 |
| Fortuna | 61 |
| Orosí-Cacao | 33 |
| TOTAL | 865 |

ESTADO ACTUAL DE LAS ÁREAS GEOTÉRMICAS EN COSTA RICA



CAMPO GEOTÉRMICO MIRAVALLS



UNIDADES CAMPO MIRAVALLS



Unidades I y II, 55 MWe c/u



Unidad III, 29 MWe

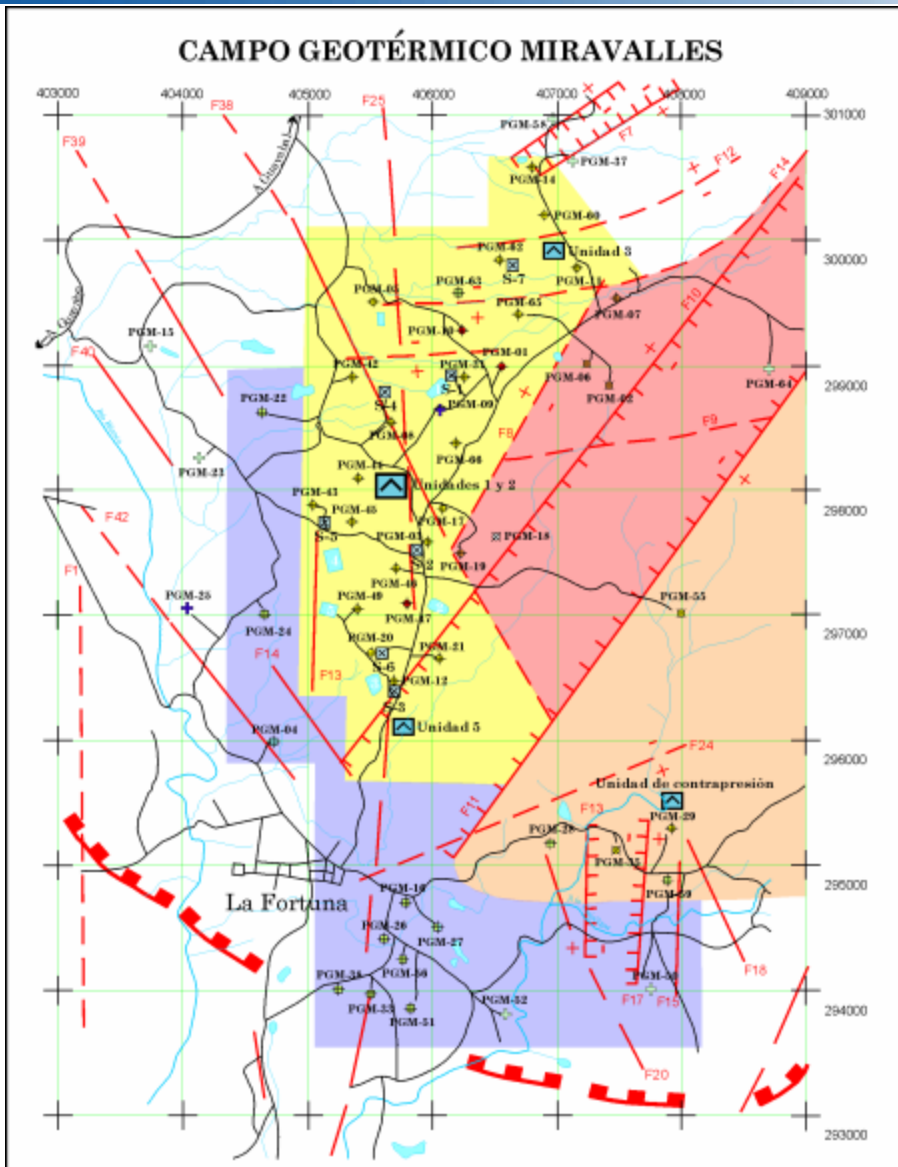


Unidad V, 19 MWe



Unidad contra presión, 5 MWe

CAMPO GEOTÉRMICO MIRAVALLS



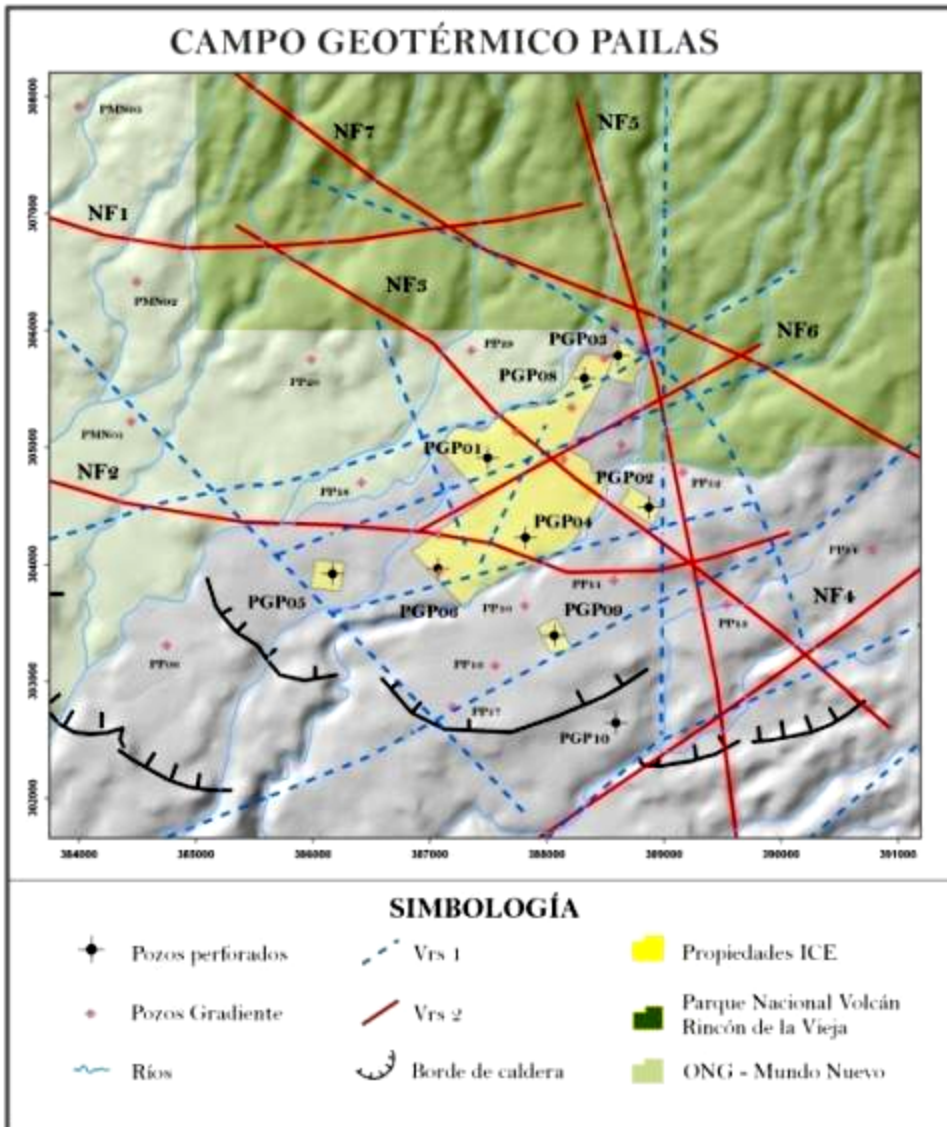
- Fase: operación
- Pozos perforados = 52
- Pozos productores = 30
- Pozos re-inyectores = 12
- Pozos exploratorios = 6
- Pozos fallidos = 4
- Caudal másico entre 40 y 245 kg/s
- Entalpía entre 980 y 1150 KJ/kg
- Potencia entre 3 y 15 MW
- Pozos re-inyectores aceptación variable entre 100-150 l/s los del sur y 250-350 l/s los del margen occidental
- Zona amarilla: fluidos neutros.
- Zona rosada: fluidos ácidos.
- Zona café: fluidos neutros bicarbonatados.
- Zona azul: área de re-inyección.
- Sistema de inhibición: para fluidos neutros
- Sistema de neutralización: para fluidos ácidos.

CAMPO GEOTÉRMICO PAILAS



- **Fase : desarrollo**
- Puesta en operación: mediados del 2011.
- Planta binaria de 41,5 MW de potencia bruta.
- Requerimientos:
- Vapor: 89 kg/s a una presión de 6 bar.
- Líquido: 378 kg/s a una temperatura de 159°C.
- La temperatura de los fluidos a inyectar será de 140 °C.
- Los fluidos producidos tienen una composición cloruro sódica, pH neutro, bajo contenido de gases incondensables.
- Temperatura máxima 250°C.

CAMPO GEOTÉRMICO PAILAS



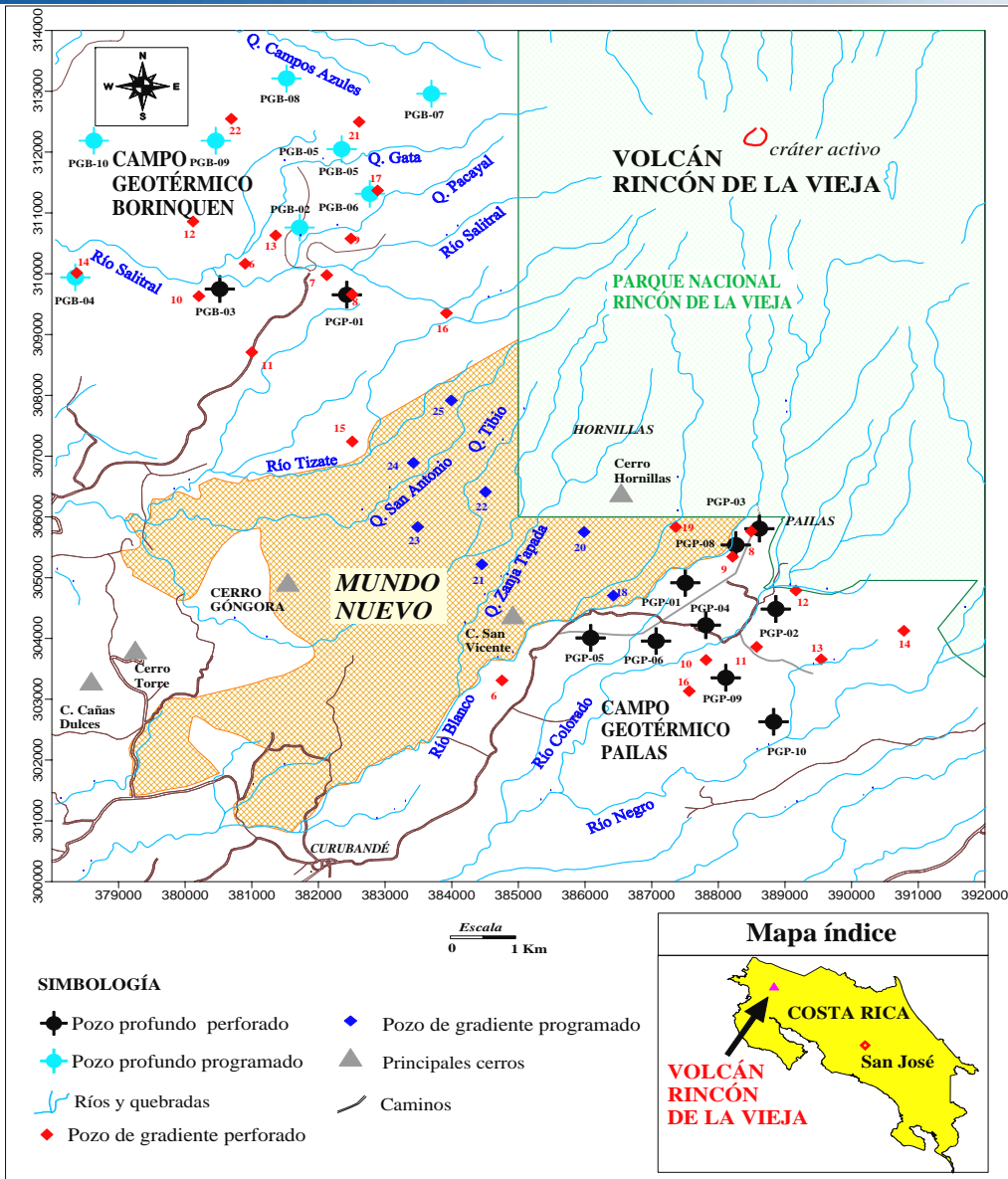
- Pozos perforados: 12
- Profundidades: 1418 - 2673 metros
- Pozos productores: 6
- Flujos máxicos: 33 – 193 kg/s.
- Entalpías: 979 – 1251 KJ/kg.
- Pozos re-inyectores: 3
- Permeabilidad baja: el 6 (20L/s) y el 9 (35L/s)
- Permeabilidad media: el 23 (90L/s)
- Pozos fallidos: 3
- 2 pozos, el PGP-5 y el PGP-10 resultaron de muy baja permeabilidad y temperatura.
- El otro pozo, el PGP-2 se tuvieron problemas mecánicos. En este pozo se había medido una temperatura de 230 °C.
- Pozos en proceso de perforación: 2
- El PGP-17 (prod.) y el 25 (Re-iny.)

CAMPO GEOTÉRMICO BORINQUEN



- Ubicación: Flanco sur-oeste del volcán Rincón de la Vieja.
- Estado actual:
- Pre-factibilidad avanzada
- Pozos perforados: 2.
- Plataformas : 4
- PGB-01:
 - Clase: productor.
 - Profundidad: 2594 m.
 - T máx medida.: 275°C.
 - Potencia: 4 MWe.
 - Fluido: Clorurado sódico.
 - pH : neutro.
- PGB-03:
 - Clase: re-inyector.
 - Profundidad: 2082 m.
 - Permeabilidad: baja.

ÁREA GEOTÉRMICA MUNDO NUEVO



■ Fase: Pre-factibilidad.

■ Ubicación: Al sur-oeste del complejo volcánico Rincón de la Vieja-Santa María. Entre los campos geotérmicos de Pailas y Borinquén.

■ Con Base en la información geológica, geoquímica, geofísica, de gradiente térmico y las características termo-químico-hidráulicas de los fluidos de Pailas se hizo una estimación del potencial energético de la zona, obteniéndose como potencia: 17 MW en una área más probable de 3.09 km².

■ El área más probable esta incluida en su totalidad dentro del Parque Nacional Rincón de la Vieja.

ÁREA GEOTÉRMICA ARENAL – POCOSOL



■ Fase: Reconocimiento

■ Localización: 100 km al NO de San José.

■ Área de estudio: 690 km².

■ La mayor parte corresponde a zonas bajo diferentes regímenes de protección forestal:

□ Parque Nacional Volcán Arenal.

□ Bosque Eterno de los Niños.

□ Reserva biológica Alberto Manuel Brenes.

■ Se han identificado dos zonas :

□ Una en el sector norte (alrededor del volcán Arenal y el Cerro Chato).

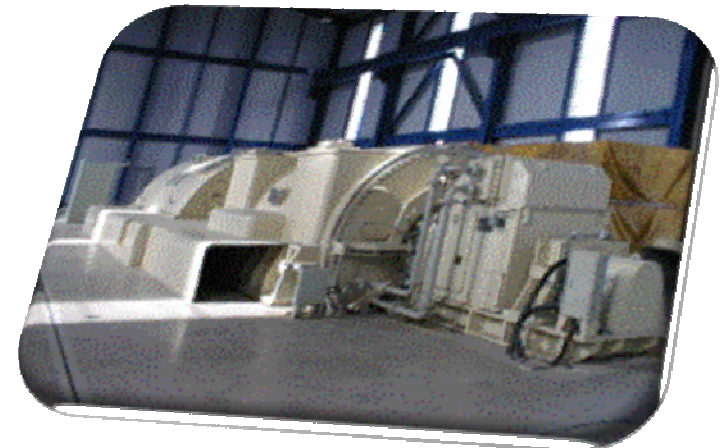
□ La otra en el sector sur (Pocosol)

■ El sector norte: vulcanismo activo y nacientes termales .

■ El sector sur: área afectada fuertemente por procesos tectónicos y erosivos, nacientes termales cercana a la ebullición, de fluidos cloruro sódicos, geotermometría sugiere una temperatura de reservorio de 220 °C.

COSTA RICA: VENTAJAS DE UTILIZACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

- Son una fuente casi inagotable de energía eléctrica si se da un buen manejo de campo.
- Baja contaminación sónica.
- Bajo impacto visual.
- Desarrollo socioeconómico de las comunidades cercanas al proyecto.
- Alto factor de planta debido a que no se relaciona con cambios estacionales. Factor de planta usualmente arriba de 0.9.
- Energía poco contaminante. Baja producción de CO₂.
- Sustituye generación térmica.
- Costo de producción por kW/h un poco más alto que una hidroeléctrica y mucho menor que una térmica
- Beneficio económico importante, dado que al sustituir generación térmica, disminuye la importación de combustibles fósiles.



Por su atención: ¡Gracias!

gmayorga@ice.go.cr