

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR Y SU IMPACTO
AMBIENTAL EN LA REGIÓN TACNA**

TESIS

Presentada por:

Lic. CARLOS ARMANDO POLO BRAVO

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGÍSTER SCIENTIAE*) CON
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**

TACNA - PERÚ

2013

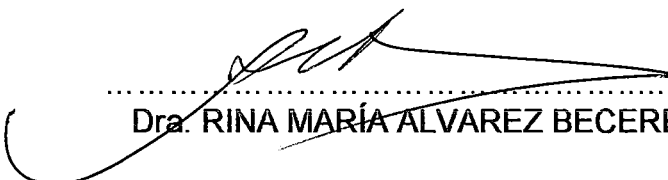
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR Y SU IMPACTO AMBIENTAL EN
LA REGIÓN TACNA

Tesis sustentada y aprobada el 14 de junio del 2013;
estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE


.....
Dra. RINA MARÍA ALVAREZ BECERRA

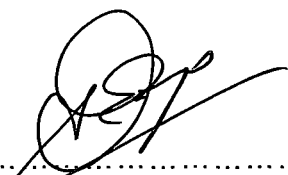
SECRETARIO


.....
Dr. DANTE ALEJANDRO MANZANARES
CÁCERES

MIEMBRO


.....
Msc. HUGO ALFREDO TORRES MURO

ASESOR


.....
Dr. ALBERTO BASILIO QUISPE COHAILA

AGRADECIMIENTOS

**A MIS QUERIDOS PADRES Y HERMANOS POR HABERME FORJADO Y
APOYADO PERMANENTEMENTE**

**A MI ESPOSA E HIJOS, POR SER EL MOTIVO DE INSPIRACIÓN Y
SUPERACIÓN**

**A MI COLEGA HUGO TORRES, Y A TODOS LOS COLEGAS DEL DAFI
POR SU CONSTANTE COLABORACIÓN**

**A LA DIRECTORA REGIONAL DEL SENAMHI TACNA – MOQUEGUA
POR LA INFORMACIÓN BRINDADA**

**AL Dr. ALBERTO QUISPE COHAILA POR SU VALIOSO
ASESORAMIENTO**

DEDICATORIAS

A NUESTRO SUPREMO: DIOS

A MIS PADRES CARLOS Y BENITA

**A MIS HERMANOS LILIA, MANUEL, JAIME, JAVIER, VIRGINIA, LUISA, ELSA,
JOSÉ Y GINA**

A MI QUERIDA ESPOSA ROSA

A MIS INOLVIDABLES HIJOS GIANCARLO, CLAUDIA Y CARLITOS

A FRANZ TRIEB Y A TODOS MIS AMIGOS

A LA HEROICA REGIÓN DE TACNA

“Pensar bien, para vivir mejor”

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Indice de figuras	x
Indice de cuadros	xv
Nomenclaturas	xviii
Resumen	xxiv
Abstract	xxv
Introducción	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Problemática de la investigación	5
1.2	Formulación del problema	10
1.3	Objetivos	
1.3.1	Objetivos generales	10
1.3.2	Objetivos específicos	11
1.4	Hipótesis	11

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1	Definiciones Básicas	
2.1.1	Definición de energía	12
2.1.2	Combustibles fósiles o tradicionales	15
2.1.3	Energías renovables	18

2.1.4	El sol	23
2.1.5	La energía solar y sus características	28
2.1.6	Cuantificación del potencial solar	39
2.1.7	Instrumentos para medir la irradiancia solar	47
2.1.8	Aplicaciones de la energía solar	42
2.1.9	Factores de conversión de energía	60
2.2	Soluciones a la crisis de la energía y al cambio climático	
2.2.1	Evolución y crisis de la energía	62
2.2.2	Gases de efecto invernadero	68
2.2.3	El efecto invernadero	74
2.2.4	Definición de cambio climático	81
2.2.5	Consecuencia del cambio climático	85
2.2.6	Acciones para mitigar el cambio climático	88
2.3	Evaluación del Impacto ambiental	
2.3.1	Evaluación de impacto ambiental	92
2.3.2	Elementos adyacentes a la EIA	96
2.3.3	Elementos del proceso de EIA	106
2.3.4	Elementos intrínsecos a la EIA	110
2.3.5	Herramientas y procedimientos para el EIA	113
2.4	Tipología y caracterización de Impactos ambientales	119

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1	Tipo y diseño de la investigación	
3.1.1	Tipo de investigación	125

3.1.2	Diseño de la investigación	127
3.2	Población y Muestra de estudio	
3.2.1	Población de estudio	128
3.2.2	Muestra de estudio	129
3.3	Operacionalización de las variables de estudio	133
3.4	Técnicas e instrumentos par recolección de datos	
3.4.1	Método de recolección de datos	137
3.4.2	Instrumentos de recolección de datos	141
3.5	Procesamiento y análisis de datos	143

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Caracterización de la línea de base dela región Tacna	
4.1.1	Aspectos demográficos	144
4.1.2	Aspectos sociales	147
4.1.3	Biodiversidad en la región Tacna	149
4.1.4	Desertificación en la región Tacna	152
4.1.5	Flora e la región Tacna	154
4.1.6	Fauna en la región Tacna	159
4.1.7	Zonas de vida en la región Tacna	164
4.2	Potencial Energético solar en la región Tacna	
4.2.1	Helifonía e iradiancia solar promedio mensual por lugar de registro de la región Tacna	196
4.2.2	Helifonía e iradiancia solar promedio mensual en cada provincia de la región Tacna	203

4.2.3	Helifonía e iradiancia solar promedio mensual para registros en lugares de la sierra y costa de la región Tacna	206
4.2.4	Irradiancia solar global promedio mensual y anual en la ciudad de Tacna	210
4.2.5	Energía solar global en promedios estacionales en cada provincia de región Tacna	215
4.2.6	Potencial energético solar global en promedios mensuales y anuales en cada lugar de registro del Senamhi Tacna	217
4.2.7	Potencial energético solar global en promedios mensuales anuales para la ciudad de Tacna	218
4.2.8	Energía solar global en promedios Estacionales para la ciudad Tacna	222
4.2.9	Mapa de energía solar en promedio anual para la región Tacna, periodo 1975-1990	224
4.2.10	Cuantificación de la cantidad de combustibles fósiles que se ahorrarían en la región Tacna	227
4.2.11	Cuantificación de la cantidad de CO ₂ , SO ₂ , NO _x que se dejarían de emitir en la región Tacna	229
4.2.12	Area de terreno requerido para el abastecimiento energético regional y nacional con el uso del potencial energético solar regional	230
4.3	Evaluación de impactos ambientales	
4.3.1	Evaluación cualitativa de impactos bajo diagrama de redes	233
4.3.2	Evaluación cualitativa de impactos bajo metodología de Leopold	240

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1	Resultado del estudio de la línea base de la región Tacna	244
5.2	Evaluación cualitativa de IA bajo diagrama de redes	249
5.2.1	Red de IA causados por el afianzamiento hídrico de la laguna de Aricota	250
5.2.2	Red de IA causados por el uso de combustibles fósiles	251
5.2.3	Red de IA causados por el uso masivo de la energía solar	253
5.3	Evaluación cualitativa de IA bajo el método de Leopold	255
5.3.1	Evaluación cualitativa de IA causados por el afianzamiento hídrico de la laguna de Aricota	255
5.3.2	Evaluación cualitativa causados por el uso masivo de la energía solar en la región Tacna	256
5.4	Cuantificación del potencial energético solar de la región Tacna	257
5.5	Cuantificación de CO ₂ , SO ₂ , N _x O dejados de emitir	271
5.6	Cuantificación de la cantidad de combustibles fósiles ahorrados	272
5.7	Area de terreno necesario para plantas solares para la generación de energía eléctrica	273

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones	277
-----	--------------	-----

6.2	Recomendaciones	280
-----	-----------------	-----

REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	282
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	283
ANEXOS	289

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Movimiento de la Tierra alrededor del sol durante el año	27
Figura 2: Formas energéticas en que puede transformarse la energía solar en calor y electricidad	30
Figura 3: Diagrama de la radiación solar llega a la superficie terrestre	34
Figura 4: Espectro de la energía solar sobre la superficie terrestre	38
Figura 5: Pirheliómetro de Ångström, (derecha); Vista de un. Piranómetro Kipp & Zonen	50
Figura 6: Heliógrafo de Campbell-Stokes	52
Figura 7: Vista de sistemas solares térmicos de baja temperatura, desarrollado en el CERT-UNJBG, y empresas nacionales	55
Figura 8: Sistemas solares fotovoltaicos domiciliarios rurales	58
Figura 9: Vista de los actuales de sistemas de concentración solar	59
Figura 10: Tendencias del consumo de energías primarias fósiles y renovable en un escenario al año 2050	67
Figura 11: Evolución de las concentraciones de CO ₂ , CH ₄ , y NO ₂ en la atmosfera terrestre entre los años 1000 al 2000	71
Figura 12: Desbalance mundial entre la emisión y absorción del dióxido de carbono	79
Figura 13: Diagrama de la cadena de escenarios del cambio climático y su mitigación	83
Figura 14: a) Emisiones mundiales anuales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004.5 b) Parte proporcional de diferentes GEI antropogénicos en las emisiones totales en el año 2004, en términos de CO _{2-eq} c) Parte proporcional de diversos sectores en las emisiones totales de GEI antropogénicos en 2004, en términos de CO _{2-eq}	84

Figura 15: Ubicación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI Tacna, para el registro de heliofonía diaria	131
Figura 16: Vista general del heliógrafo tipo Campbell – Stokes, y bandas de registro, usado por al SENAMHI Tacna – Moquegua	139
Figura 17: Vista de los solarímetros Keep Zonnen (izquierda) fotovoltaico (derecha); del CERT para la medida de la irradiancia solar global	141
Figura 18: Mapa forestal de la región Tacna	152
Figura 19: Vista del Suri y el pato crestón en la zona altoandina de la región	162
Figura 20: Vista de Puco Pucu (perdiz), y del ganso andino o pallata	163
Figura 21: Vista de mamíferos: guanaco y la vicuña en la zona altoandina de la región	164
Figura 22: Gráfico que muestra las trece zonas de vida de la región Tacna	166
Figura 23: Vista panorámica de las lomas de Morro, espejos de agua, y vegetación predominante de los humedales de Ite	170
Figura 24: Cactáceas en zonas áridas, y Torrenteras de vegetación	171
Figura 25: Vista de la zona desértica camino a Palca y a Tarata	172
Figura 26: Vista panorámica de las lomas en Sama y en Morro Sama	177
Figura 27: Matorrales en los alrededores de Huanuara; Matorrales cercanos a Estique Pueblo	180
Figura 28: Vistas de tolares cerca del volcán Yucamani, 4 100 msnm, y antes de llegar al volcán Yucamani a 3 600 msnm	185
Figura 29: Vista de Queñoales y yaretales altoandinos	188
Figura 30: Vista de yaretales con formación de almohadillos por encima de los 4 200 msnm	192
Figura 31: Vista de pajonales camino a Calientes a 4260 msnm	196
Figura 32: Zonas desérticas de la cordillera del Barroso	200
Figura 33: Promedios mensuales de irradiancia solar global en W/m^2 periodo 2002-2006 al 2011 para cada estación de registro del	

Senamhi en la región Tacna	202
Figura 34: Variación de la radiación solar extra terrestre en promedio mensual para el hemisferio Sur, para latitudes entre 15° y 32°	202
Figura 35: Heliofonía en promedios mensuales anualizados en el periodo 2002 -2006 al 2011, para cada provincia de la región Tacna	204
Figura 36: Variación de promedios mensuales de la irradiancia solar, periodo 2002-2006 al 2011, para cada provincia de la región	205
Figura 37: Heliofonía en promedios mensuales para el periodo 2002-2006 al 2011 para la zona de costa y sierra de la región Tacna	208
Figura 38: Variación de los promedios mensuales de irradiancia solar global periodo 2002-2006 al 2011, para la zona de costa y sierra de la región Tacna	209
Figura 39: Variación de la Irradiancia solar global en promedios mensuales sobre superficie horizontal para los años 2010 y 2011 para la ciudad de Tacna	212
Figura 40: Variación diaria para los meses de mayor y menor de la irradiancia solar global sobre superficie horizontal, en promedios diarios para el año 2010 en la ciudad de Tacna	216
Figura 41: Variación horaria de la irradiancia solar global para el mejor (01 diciembre) y el día más bajo (22 de junio) del año 2011, en la ciudad de Tacna	213
Figura 42: Variación de la irradiancia solar global en promedios diarios, mes de mejor irradiancia solar: diciembre del año 2011 ciudad de Tacna	214
Figura 43: Variación de la irradiancia solar global en promedios diarios, para el mes más bajo de irradiancia solar: junio del año 2011	

en la ciudad de Tacna	214
Figura 44: Variación estacional de la Energía solar global sobre superficie horizontal en (kWh/m ² día) en las cuatro provincias de la Región Tacna	216
Figura 45: Variación mensual de la energía solar global para cada lugar de registro del Senamhi Tacna, periodo 2002-2006 al 2011	217
Figura 46: Variación anual de la energía solar global para la ciudad de Tacna, con registros de la estación CERT y con datos de heliofonía, y la temperatura ambiente	220
Figura 47: Variación mensual y anual de la energía solar global sobre superficie horizontal para la ciudad de Tacna, estación CERT para años 1986, 1995, 2010, 2011	221
Figura 48: Distribución porcentual de la energía solar incidente para años 1986, 1995, 2010, y 2011, estación CERT, para la ciudad de Tacna	222
Figura 49: Variación comparativa de la energía solar global en kWh/m ² día entre la registrada por la estación CERT y la obtenida con heliofonía del SENAMHI para ciudad de Tacna	223
Figura 50: Mapa de la energía solar global en promedio anual de la región Tacna sobre una superficie horizontal para el periodo 1975 – 1990	224
Figura 51: Código de colores utilizados en los mapas solares de la región Tacna	225
Figura 52: Red de impactos ambientales causados en el afianzamiento de la laguna de Aricota para generación de energía	237
Figura 53: Red de impactos ambientales causados por el uso de	

	combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) para generación de energía	238
Figura 54:	Red reducida de posibles impactos ambientales producido por el uso masivo de la energía solar en la región Tacna	239
Figura 55:	Potencial energético solar de la región Tacna, correspondiente al periodo 2002-2006 al 2011, en valores mensuales promedios de la energía solar sobre superficie horizontal	266
Figura 56:	Mapa solar proyectado regional Tacna en promedio anual sobre superficie horizontal, para el periodo 2002-2006 al 20	267
Figura 57:	Esquema comparativo entre los litros de petróleo y la energía solar anual incidente por metro cuadrado, en el contexto mundial y el potencial solar de la región Tacna	269
Figura 58:	Mapas solares en valores promedios mensuales de la energía solar incidente global sobre una superficie horizontal para la región Tacna, periodo 1975 – 1990, meses de enero, febrero, marzo, abril, en código de colores	273
Figura 59:	Mapas solares globales en valores promedios mensuales de la energía solar incidente sobre una superficie horizontal para la región Tacna, periodo 1975 – 1990, meses de mayo, junio, julio, agosto, en código de colores	291
Figura 60:	Mapas solares globales en valores promedios mensuales de la energía solar incidente sobre una superficie horizontal para la región Tacna, periodo 1975 –1990, meses de setiembre, octubre, noviembre, diciembre	292

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Emisión de CO ₂ /SO ₂ /N _x O en (g/KWh), para cada tipo de fuente energética tradicional	16
Cuadro 2: Emisión de CO ₂ /SO ₂ /N _x O en gramos/kilowatts-hora (g/KWh), para cada tipo de fuente energética renovable	19
Cuadro 3: Valores de los coeficientes a y b del modelo Ångström- Prescott por lugar geográfico para diferentes zonas del Perú	46
Cuadro 4: Equivalencias entre unidades de energía	61
Cuadro 5: Consumo mundial de energía en mil millones de GJ de las actuales fuentes energéticas, proyectado a un escenario del 2030	66
Cuadro 6: Potencial de los gases de efecto invernadero	74
Cuadro 7: Descripción de los factores ambientales en el subsistema de núcleos e infraestructuras	102
Cuadro 8. Descripción de los factores ambientales en el medio físico o medio natural	103
Cuadro 9. Componentes del subsistema socio-económico, sus componentes y factores ambientales	104
Cuadro 10: Escala de evaluación de la magnitud de los impactos	120
Cuadro 11: Escala de la evaluación de la extensión de los impactos	121
Cuadro 12: Escala de evaluación de la persistencia de los impactos	122
Cuadro 13: Escala de evaluación de la capacidad de recuperación de los impactos	123
Cuadro 14: Escala de evaluación de la significancia de los impactos	125
Cuadro 15: Ubicación de las estaciones meteorológicas del Senamhi Tacna para la medida de Heliofonía	130
Cuadro 16: Caudal demográfico de la región Tacna	134
Cuadro 17: Tipo de la biodiversidad de la región Tacna, en porcentaje	

respecto al área total regional	151
Cuadro 18: Descripción de las seis clases de desertificación en Tacna	153
Cuadro 19: Superficie de las trece zonas de vida de la región Tacna y sus alturas respecto a nivel del mar	195
Cuadro 20: Promedios mensuales de heliofonía para el periodo 2002-2006 al 2011 por cada estación de la región	198
Cuadro 21: Promedios mensuales de irradiancia solar global, para el periodo 2002-2006 al 2011, para cada lugar de registro con estaciones del Senamhi de la región Tacna	200
Cuadro 22: Radiación solar extraterrestre anual en valores mensuales Promedios (W/m^2), para el hemisferio sur, latitudes de 15° a 32°	201
Cuadro 23: Promedios mensuales de heliofonía (horas de sol / día), periodo 2002-2006 al 2011, para cada provincia de la región	203
Cuadro 24: Promedios mensuales de irradiancia solar global (W/m^2) anualizadas al periodo 2002-2006 al 2011, para cada provincia de la región Tacna	205
Cuadro 25: Promedios mensuales de heliofonía periodo 202-2006 al 2011 para zonas de la costa y sierra de la región	207
Cuadro 26: Valores de la irradiancia solar global periodo 202-2006 al 2011 para zonas de la costa y sierra de la región	208
Cuadro 27: Promedios mensuales de la irradiancia solar (W/m^2) sobre superficie horizontal, años 2010 2011, estación CERT para la ciudad de Tacna	211
Cuadro 28: Energía solar global estacional sobre superficie horizontal en kWh/m^2 día, en cada una de las provincias de la región Tacna, para el periodo 2006 – 2011	216
Cuadro 29: Valores de la energía solar global sobre superficie horizontal, periodo 2002-2006 al 2011, para lugares de registro	217

Cuadro 30: Datos promedios mensuales de energía solar global (KWh/m ² día) sobre una superficie horizontal, años 1986, 1995, 2010, y 2011, para la ciudad de Tacna; y de la variación mensual de la temperatura ambiente (Tamb)	219
Cuadro 31: Equivalencia numérica de los Distritos de las provincias de la región Tacna, en el mapa solar regional de la figura 50	226
Cuadro 32: Valores del poder calorífico de los combustibles fósiles y derivados, y de algunos biocombustibles	228
Cuadro 33: Valores de la cantidad de combustibles fósiles en TE que se ahorrarían en tres periodos de tiempo	232
Cuadro 34: Cantidad de gases de CO ₂ , SO ₂ y N _x O, en toneladas métricas que se dejarían de emitir	236
Cuadro 35: Valores de la energía solar anual incidente sobre superficie de terrenos regionales	240
Cuadro 36: Valores del área de terreno requerida, en el caso de usar los cinco sistemas mejor desarrollados en el mundo para la conversión de energía solar a electricidad	243
Cuadro 37: Escala de evaluación cualitativa de la magnitud del impacto	235
Cuadro 38: Matriz de valoración de impactos ambientales causados por el afianzamiento hídrico de la laguna de Aricota	242
Cuadro 39: Matriz de valoración de impactos para el escenario de uso masivo del potencial energético solaren la región Tacna	243
Cuadro 40: Valores mensuales de la energía solar promedio anualizada al periodo 2002-2006 al 201, sobre una superficie horizontal en la región Tacna	265
Cuadro 41: Horas De salida del sol (HS), horas de puesta del sol (HP) y duración astronómica del día (N) para latitudes del hemisferio sur	289

NOMENCLATURAS

MMC	:	millones de metros cúbicos
%	:	porcentaje (por ciento)
l/s	:	litros por segundo
l/hab/día	:	litros por habitante día
INC	:	Instituto Nacional de Cultura
OT	:	Ordenamiento Territorial
MINAM	:	Ministerio del Medio Ambiente
N°	:	número
ZEE	:	Zonificación Económica Ecológica
Hu	:	humedales
ha	:	hectáreas
Bo	:	bofedales
Ni	:	Nival
La	:	lagunas
DL	:	Decreto Ley
GR	:	Gobierno Regional
ANPs	:	Áreas naturales protegidas
ACR	:	Área de conservación regional
ACRVM	:	Área de conservación regional Vilacota-Maure
INRENA	:	Instituto Nacional de Recursos Naturales
SRL	:	Sociedad de Responsabilidad Limitada
Vu	:	vulnerable
NT	:	amenazado
EN	:	en peligro
CPM	:	Centro Poblado Menor
m ³ /s	:	metros cúbicos por segundo

°C	:	grados centígrados o celcius
mm	:	milímetros
mm/año	:	milímetros por año
km	:	kilómetros
m	:	metro
°	:	grados
'	:	minutos
''	:	segundos
s	:	segundos
Lo	:	lomas
Ti	:	tillandsial
LS	:	Latitud sur
km ²	:	kilómetro cuadrado
AG	:	agricultura
Es-Nv	:	escasa o nula vegetación
msnm	:	metros sobre el nivel del mar
Re-Ca	:	Relitos de carzo
CR	:	peligro crítico de extinsión
Ma-Sh	:	Matorral sub húmedo
Pa-To	:	Pajonal-tolar
Qv	:	Bosques de queñoales
pH	:	grado de acidez
OMS	:	Organización Mundial de la Salud
mS/cm	:	mili siemens por centímetro
mg/l	:	miligramos por litro
mohms/cm	:	miliohmios por centímetro
ppm	:	partes por millón
SI	:	contenido bajo de sodio

C2	:	contenido moderado de sales
C3	:	contenido medio y alto de sodio
S2	:	contenido medio de sodio
Ph-Sas	:	páramo húmedo-sub andino sub tropical
mm/día/m ²	:	milímetros por día por metro cuadrado
tmh-as	:	tundra muy húmeda-andina subtropical
n-s	:	nival subtropical
l/s/km ²	:	litros por segundo y por kilómetro cuadrado ó rendimiento específico de producción de cuenca
mm/año	:	milímetros de lluvia por año
ppb	:	partes por billón
ds-Tc	:	desierto desecado- templado cálido
ds-Tc	:	desierto super árido-templado cálido
dp-Tc	:	desierto perárido-templado cálido
md-Tc	:	matorral desértico-templado cálido
da-MTc	:	desierto árido-montero templado cálido
md-MTc	:	matorral desértico-montero templado cálido
dse-saTc	:	desierto semiárido-subalpino Templado cálido
md-SaTc	:	matorral desértico-sub alpino templado cálido
ph-Sac	:	paramo húmedo-sub alpino sub tropical
th-ATc	:	tundra húmeda-alpino templado cálido
tmh-As	:	tundra muy húmeda-alpino sub tropical
NS	:	nival sub tropical
CITES	:	Convenio Internacional de Especies Amenazadas de fauna y flora Silvestre
UTM	:	Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (Universal Transverse Mercator)
kWh/m ² día	:	Kilowatts hora por metro cuadrado día

W	:	watts
W/m ²	:	watts por metro cuadrado
GLP	:	gas licuado de petróleo
kCal/kg	:	kilocalorías por kilogramo
kg/m ³	:	kilogramo por metro cúbico
kWh	:	kilowatts hora
PgC/año	:	peta gramo de carbono por año
J	:	joule
kCal	:	kilocaloría
TEP	:	tonelada equivalente de petróleo
TEC	:	tonelada equivalente de carbón
TEGp	:	tonelada equivalente de gas propano
TE	:	tonelada equivalente
CO ₂	:	dióxido de carbono
NO _x	:	óxidos de nitrógeno
SO ₂	:	óxidos de azufre
DBO	:	demanda bioquímica de oxígeno
CPC	:	colector cilíndrico parabólico
I	:	medio biótico
II	:	medio abiótico
III	:	medio socio económico cultural
CERT	:	Centro de Energías Renovables de Tacna
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
EGESUR	:	Empresa de Generación Eléctrica del Sur
MW	:	megawatts
SIEN	:	Sistema Interconectado Eléctrico Nacional
COES-SINAC	:	Comité de operación económica del sistema interconectado nacional

CH ₄	:	gas metano
GEI	:	gases de efecto invernadero
g/kWh	:	gramos por kilowatts hora
MDL	:	Mecanismo de Desarrollo Limpio
IPCC	:	Protocolo Internacional del Cambio Climático
d	:	declinación solar
km/s	:	kilómetros por segundo
d	:	día del año
w	:	ángulo horario
h	:	hora
t _s	:	hora solar local
μm	:	micrómetros o micras
K	:	grados kelvin
Å	:	angstroms
nm	:	nanómetros
UV-A	:	radiación ultravioleta tipo A
UV-B	:	radiación ultravioleta tipo B
UV-C	:	radiación ultravioleta tipo C
CFC	:	gas fluor cloro carbonados
GeV	:	giga electrón voltio
kW	:	kilowatts
H _{os}	:	constante solar
H _o	:	radiación solar extraterrestre
N	:	fotoperiodo o duración astronómica del día
n	:	heliofonía ó horas de sol por día
H _{oh}	:	radiación solar horizontal diaria extraterrestre
A	:	ángulo solar de altura
H	:	irradiancia solar horizontal diaria

Wh/m²día	:	watts hora por metro cuadrado día
W/m²día	:	watts por metro cuadrado día
GJ	:	giga joule
OCED	:	Organización para la Cooperación y Desarrollo

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha obtenido que la energía solar global incidente sobre superficie horizontal en promedio anual para la región Tacna es de $(6,04 \pm 0,36)$ kWh/m²día, ó 0,510 litros de petróleo por metro cuadrado de superficie por día, por encima del promedio mundial en 13,46 %, con una variación interanual de 5,8%; lo que determina que la región Tacna es ideal para cualquier aplicación solar, sobre todo en la zona de la “franja solar”.

Las zonas andinas cuentan con mejor potencial que el de la costa, en verano se tiene la mayor energía incidente, igualmente se ha cualificado los impactos ambientales causados por los sistemas que abastecen de energía a la región, como ser las CCs. HHs. de Aricota y del sistema interconectado que usan combustibles fósiles y de grandes CC. HH. distribuidas en diferentes regiones del país, determinándose que estos son altamente negativos, con significancia (-), mientras que los de la energía solar son altamente positivos, con significancia (+); su uso conlleva a ahorrar grandes cantidades de combustibles fósiles, y dejar de emitir miles de toneladas de CO₂, SO₂ y N_xO, con estos indicadores es posible planificar el desarrollo sostenible de la región.

ABSTRACT

In the present research work has been obtained that the global solar energy incident on a horizontal surface in annual average Tacna region is $(6,04 \pm 0,36)$ kWh/m²día, or 0,510 liters of oil per square meter per day, above the world average in 13,46%, with a variation of 5,8%, which determines that the Tacna region is ideal for any solar application, especially in the area of the "sun belt".

Andean areas have better potential than the coast in summer has the highest incident energy, has also been qualified environmental impacts caused by the systems that supply energy to the region, such as the CCs. HHs. Aricota and interconnected system using fossil fuels and large CC. HH. distributed in different regions of the country, determined that these are highly negative, with significance (-), while solar energy are highly positive, with significance (+), its use leads to save large amounts of fossil fuels, and let to emit thousands of tons of CO₂, SO₂ and N_xO with indicators these is possible to plan the sustainable development of the region.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la energía consumida por el hombre proviene aproximadamente en un 80 % de los combustibles fósiles, como el petróleo, carbón mineral y el gas, pero su utilización masiva conduce al agotamiento de las reservas y supone a la vez un real peligro para el medio ambiente, considerando que son las principales fuentes de gases de efecto invernadero, como el CO₂, SO₂, N_xO, CO, entre otros; lo que está ocasionando una mayor intensidad del efecto invernadero, cuyas consecuencias se manifiestan a través del cambio climático, de alcance local, regional, nacional y global, y sus consecuencias, como la mayor cantidad de lluvias en algunos lugares, sequías en otros, olas de calor, frutaje, inundaciones, mayor frecuencia de fenómenos naturales, afectación a la flora y fauna, al medio socioeconómico y cultural, a la producción de alimentos, la disponibilidad de agua, a las costas, islas, etc.; a esto se suma que las fuentes de energía fósiles son cada vez más escasas, caras, y son simplemente depósitos de energía, la energía nuclear más peligrosa, el alza significativa del precio del barril de petróleo, el gran daño ecológico que significa la construcción de grandes centrales hidroeléctricas, la riesgosa

dependencia de la importación de petróleo en muchos países, y la concentración de las fuentes de energías en regiones políticamente inestables y sensibles al medio ambiente.

Estos aspectos afectan el desarrollo sostenible de los países, por lo tanto resulta urgente encontrar una alternativa de solución viable y asequible para todas las regiones y países del mundo, en este contexto la energía solar y las demás renovables juegan un rol muy importante, considerando que son fuentes de energía. La región Tacna no escapa a esta problemática, caracterizada porque energéticamente no es autosuficiente, la energía eléctrica que utiliza proviene de las CCs. HHs. de Aricota la cual funciona parcialmente debido a la falta del recurso hídrico, y que para afianzarla han realizado un conjunto de obras que han ocasionado impactos ambientales altamente negativos en los ecosistemas altoandinos, a esto se suma los ocasionados por la utilización de aguas superficiales y subterráneas para usos mineros, la diferencia de energía para cubrir su demanda proviene del sistema de interconexión eléctrica nacional alimentada por fuentes termoeléctricas que usan como combustible petróleo, carbón y gas, y de las grandes CCs. HHs.

Por otro lado nuestro país cuenta con el Atlas de Energía Solar, publicado en el 2002 por el Senamhi y el Ministerio de Energía y Minas, correspondiente al periodo 1972 a 1990, en el cual la energía solar promedio se expresa en códigos de colores por rangos de 0,5 kWh/m²día, también hay reportes de la energía solar para la ciudad de Tacna para ciertos años específicos; a nivel nacional no se cuenta con reportes de este parámetro por cada provincia y distrito de cada región en valores continuos; en este contexto he desarrollado el presente trabajo de investigación con el objetivo principal de cuantificar el potencial energético solar y su impacto ambiental en la región Tacna, entendiéndose como potencial energético solar a la irradiancia solar global promedio anual incidente sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado de superficie por día, para esto se ha tratado científicamente los registros horarios, diarios, mensuales, estacionales y promedios anuales de irradiancia solar global y heliofonía para el periodo 2002-2006 al 2011, información proporcionada por el CERT y el Senamhi Tacna, el impacto ambiental se ha determinado considerando los daños ambientales que causan el uso de los combustibles fósiles, el afianzamiento hídrico de Aricota, y las ventajas ambientales de un uso masivo de la energía solar, y para determinar la cantidad de gases de efecto invernadero dejados de emitir se ha recurrido a los ratios correspondientes; y

para determinar la cantidad de combustibles fósiles que se ahorrarían al poder calorífico de estos y al equivalente energético de la energía solar.

Frente a la problemática indicada, se ha planteado la hipótesis: “El uso del potencial energético solar produce impactos ambientales positivos y ahorro de combustibles fósiles para un desarrollo sostenible de la región Tacna”, los resultados encontrados validan la hipótesis planteada, asimismo conlleva disponer mejor del recurso hídrico, de modo tal que Tacna con su potencial energético solar puede ser autónoma y segura energéticamente, tal energía puede contribuir a solucionar sus principales problemas dentro de un marco de una política ambiental-energética con normas claras y de incentivo. Para contrastar la hipótesis se ha hecho usos de conceptos y definiciones plasmadas en el capítulo 2, sigue el marco metodológico del capítulo 3, los resultados obtenidos y su interpretación en los capítulos 4 y 5, sobre los cuales se especifican las conclusiones y recomendaciones del capítulo 6.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática de la investigación

El abastecimiento energético de la Región Tacna, en parte se realiza a base de fuentes energéticas térmicas, como la Central Térmica de Independencia en Pisco (EGESUR, ex Calana) de 20 MW, que usa como combustible gas propano de Camisea, interconectada al sistema eléctrico nacional, la central de Ilo de 150 MW, que usa como combustible carbón mineral, el cual es importado desde Australia, en el proceso de transformación energética emite gases que contaminan el medio ambiente, contribuyendo a acentuar los problemas medioambientales mundiales y locales; y por otro de las Centrales Hidroeléctricas de Aricota I y II de 23,8 y 11,9 MW, respectivamente, actualmente ambas centrales funcionan a un 30 a 50 % de su capacidad instalada, en razón a que el recurso agua de la laguna de Aricota ha sido sobre explotada en el siglo pasado, de

un volumen de almacenamiento inicial de 800 millones de m³ se llegó a 80 millones m³, llevándola casi al colapso total, hoy en día el volumen es de 250 millones de m³ gracias a las obras hídricas de afianzamiento, como el túnel de Kovire, y otros canales de transvase en la zona altoandina, obras que han causado un gran impacto ambiental en los bofedales y ecosistemas de dicha zona, afectando enormemente a la crianza de camélidos sudamericanos como la llama, alpaca, vicuña (Polo Bravo, C., 2010). Por otro lado para cubrir la demanda energética de la región, a través del sistema eléctrico de interconexión nacional se cuenta con energía eléctrica proveniente de las centrales hidroeléctricas de Charcani en Arequipa, San Gabán en Puno y la de Machu Pichu; estas centrales están en función a la disponibilidad estacional del recurso agua para accionar las turbinas, así en épocas de sequía se tiene que racionalizar el uso de la energía eléctrica, con consecuencias negativas para el desarrollo de la región, este problema se puede agravar con los efectos del cambio climático (INADE-PET, 2000)

Por otro lado, la ciudad de Tacna, ámbito geográfico de la investigación, cuenta con un alto potencial del recurso energético solar, que la convierte en una zona altamente potencial para las

diferentes aplicaciones de este tipo de energía: aplicaciones térmicas, como ser el uso de termas solares para el calentamiento de agua, secadores solares para el secado de productos agrícolas y alimenticios, invernados solares, climatización de ambientes rurales y urbanos, piscinas solares, cocinas solares de baja y alta temperatura, etc; y aplicaciones eléctricas y termoeléctricas para generación de electricidad de pequeña y gran potencia en zonas rurales y urbanas, con paneles fotovoltaicos y con sistemas de concentración solar.

Según mediciones preliminares realizadas por Torres, Liñán (1997) en el Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT) de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG), el promedio anual para la ciudad de Tacna, es de 5,75 kWh/m²día; valor que nos indica el alto potencial energético solar de esta ciudad. Por otro lado el Senamhi, DEP-MINEM (2002) cuenta con registros históricos de horas de sol por día (heliofonía) de diferentes localidades de la región, que faltan ser sistematizadas, y cuantificar dicho potencial energético (energía) incidente sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado en promedio anual. Por otro lado el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) - Senamhi han elaborado el

Atlas Solar del Perú para todas las regiones en general con datos de heliofonía de 1975 a 1990, pero no especifica valores para cada provincia y distrito correspondiente, ni tampoco indica los impactos ambientales que podría causar el uso masivo de esta energía, ni las obras de afianzamiento de la laguna de Aricota; no cuantifica cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) que se dejarían de emitir, ni tampoco la cantidad de combustibles fósiles que se dejaría de consumir (ahorrar).

La energía solar, se caracteriza por ser limpia, porque durante su transformación no contamina el medio ambiente, es renovable, de modo que mientras exista el Sol, existirá este tipo de energía. Por otro lado, el Perú, y especialmente la región sur, cuenta con un alto potencial del recurso energético solar, que la convierte en una zona altamente potencial para las diferentes aplicaciones de este tipo de energía; los valores mostrados en la descripción del problema así lo demuestran. La mayor diferencia entre energía solar y energía fósil es que la primera es una fuente de energía, mientras la segunda es un almacén de energía. Actualmente, la gente está vaciando los

almacenes a nivel mundial y se opone a usar las fuentes, lo que muestra la inteligencia superior del homo sapiens.

Este recurso se denomina irradiancia solar y se cuantifica en kilowatts-hora incidente sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado en promedio diario y anual, lo que constituye el potencial energético solar (Polo B, 2010).

El objetivo principal del presente trabajo ha sido la de cuantificar el potencial energético solar de la región Tacna en sus diferentes localidades de registro, a efectos de difundir sus ventajas y promocionar sus múltiples aplicaciones en forma masiva, ello significaría un uso racional y eficiente de la energía, con el consiguiente ahorro de combustibles fósiles como el carbón, gas y petróleos, uso consuntivo adecuado del recurso hídrico, y reducción de la emisión de CO₂, SO₂, N_xO, y otros gases que afectan nuestro medio ambiente, y causantes del cambio climático; y sobre todo ver la factibilidad de convertirse en una región autónoma energéticamente, independiente de efectos externos, usando como fuente energética el Sol, y desarrollarse sosteniblemente, y contribuir a solucionar sus grandes problemas de manera que podamos usar

sosteniblemente nuestra zona desértica bajo el binomio desierto – energía solar, en este marco descriptivo se desarrolló el proyecto denominado: potencial energético solar y su impacto ambiental en la región Tacna

1.2 Formulación del problema

Considerando los antecedentes en el ámbito internacional, nacional y regional; el problema identificado se puede plantear en los términos siguientes:

¿Qué impactos ambientales causaría, y qué cantidad de combustibles fósiles se ahorraría, si se utilizaría masivamente el potencial energético solar en la Región Tacna?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el potencial energético solar, sus posibles impactos ambientales y el ahorro de combustibles fósiles bajo un escenario de uso masivo en la región Tacna

1.3.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la irradiancia solar sobre una superficie horizontal, en promedio mensual, estacional y anual de las diferentes zonas geográficas de la región Tacna
- Evaluar cualitativamente los impactos ambientales generados por el uso de los combustibles fósiles, el afianzamiento de las Centrales Hidroeléctricas de Aricota, y el uso masivo de la energía solar en la región Tacna.
- Evaluar la cantidad de la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂, N_xO y SO₂, que se dejaría de emitir a la atmósfera bajo el escenario de una aplicación masiva de la energía solar en la región Tacna
- Cuantificar la cantidad de combustibles fósiles que se dejarían de consumir bajo un escenario de uso del potencial energético solar en la región Tacna.

1.4 Hipótesis

El uso del potencial energético solar produce impactos ambientales positivos y ahorro de combustibles fósiles para un desarrollo sostenible de la región Tacna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Definiciones básicas

2.1.1 Definición de energía

La energía es la fuerza vital de nuestra sociedad, de esta dependen los procesos tecnológicos de extracción y transformación de cualquier recurso natural, para la producción, distribución y preparación de alimentos, para la iluminación de interiores y exteriores, para el calentamiento y refrigeración de nuestras hogares, el transporte de personas y mercancías, el funcionamiento de las fábricas, para el suministro, tratamiento y usos del agua con fines domésticos, mineros, agroindustriales, etc., y, sobre todo en el presente siglo para contribuir a la mitigación del cambio climático;

La energía es una propiedad de todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual éste puede transformarse, modificando su estado o posición, así como actuar sobre otros originando en ellos procesos de transformación.

La energía puede tener distintos orígenes y, dependiendo de ellos se le denomina: energía cinética: asociada al movimiento de los cuerpos; energía potencial: asociada a la posición; energía interna: asociada a la temperatura de los cuerpos; energía luminosa: asociada a la radiación solar; energía nuclear: asociada a los procesos de fusión (unión de núcleos) o fisión (ruptura de núcleos) que tienen lugar en el interior de los átomos. La energía presenta tres propiedades básicas: La energía total de un sistema aislado se conserva; por tanto en el universo no puede existir creación o destrucción de energía; la energía puede transmitirse (transferirse) de unos cuerpos o sistemas materiales a otros; y la energía puede transformarse de unas formas a otras.

La energía es fundamental como un medio para favorecer el desarrollo sostenible; en lo económico; afecta su estructura y dinámica con la eficiencia que deriva de la diversificación de fuentes energéticas empleadas de los procesos de transformación (tecnología) y del uso final (uso racional de la energía); en lo social; satisfaciendo necesidades de la población (cobertura, calidad y confiabilidad de los servicios), proveyendo trabajo, mejorando su capacidad de compra y reduciendo el costo de la energía en

presupuestos familiares; en lo ambiental; contribuye a una explotación y uso más racional de los recursos naturales (potencial, reservas, producción, consumo) y la atenuación de sus efectos sobre el espacio vital (emisiones locales y globales), (Duffie, Beckman, 1991)

2.1.2 Combustibles fósiles ó tradicionales

Hace poco más de un siglo las principales fuentes de energía eran la fuerza de los animales y la de los hombres y el calor obtenido al quemar la madera, el ingenio humano también había desarrollado algunas máquinas con las que aprovechaba la fuerza hidráulica para moler cereales o preparar el hierro, o la fuerza del viento en los barcos de vela o los molinos de viento. Pero la gran revolución vino con la máquina de vapor, y desde entonces, el gran desarrollo de la industria y la tecnología han cambiado drásticamente las fuentes de energía que mueven la moderna sociedad. Ahora, el desarrollo de un país está ligado a un creciente consumo de energía de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural. Según Fernandez (2009) estos combustibles

han permitido un avance sin precedentes en la historia humana, pero son fuentes de energía agotables, además, estamos agotando un recurso del que se pueden obtener productos muy valiosos, como plásticos, medicinas, fibras sintéticas, insumos para la agricultura, etc., simplemente para quemarlo y obtener energía, y contaminar nuestro planeta tierra, pero por otro lado, sus usos han dado lugar a los gases de efecto invernadero, responsables del cambio climático. Los combustibles fósiles son materias orgánicas que se han convertido desde su forma original a un estado mineral sólido (carbón), líquido (petróleo), o gas (gas natural), mediante un proceso físico y químico a través del tiempo dentro de la corteza terrestre. Si estas sustancias son quemadas completamente (oxidadas) cuando se utilizan como combustible, los productos resultantes son dióxido de carbono, óxidos nitrosos, agua y energía en forma de calor. Los combustibles fósiles están compuestos por el petróleo, carbón y gas natural, y se formaron hace millones de años, a partir de restos orgánicos de plantas y animales muertos. En miles de años de evolución del planeta, los restos de seres que lo poblaron se fueron depositando en el fondo de mares, lagos y otros cuerpos de agua y luego cubiertos por muchas capas de sedimento.

Se necesitó millones de años para que las reacciones químicas de descomposición y la presión ejercida por el peso de esas capas transformasen a esos restos orgánicos en gas, petróleo o carbón. Los combustibles fósiles son recursos no renovables: se agotan, y serán necesarios millones de años de evolución similar para contar nuevamente con ellos. Así, cuando un combustible fósil se quema o arde, no se destruye sino que se transforma principalmente en energía calorífica. Todos los combustibles fósiles están formados por átomos de hidrogeno y carbón, estos átomos se combinan en moléculas llamadas hidrocarburos. Están considerados como tales el petróleo, carbón mineral y el gas. En el cuadro 1 se especifica la emisión de CO₂, SO₂, y N_xO en gramos por kilowatts.- hora (g/kWh) de energía por cada tipo de energía fósil.

Cuadro 1

Emisión de CO₂/SO₂/N_xO en (g/kWh), para cada tipo de fuente energética tradicional

EMISIÓN EN g/kWh	CO₂	SO₂	N_xO
Petróleo	818	14,2	4
Carbón	955	11,8	4,3
Gas	430	—	0,5

Fuente: BID (2008)

2.1.3 Energías renovables

Los principales recursos energéticos que utilizamos (el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio) son limitados, y, por lo tanto, pueden agotarse. Además, su utilización provoca un gran impacto ambiental en la biosfera al contaminar el aire, el agua y el suelo. Estos hechos han generado un interés creciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de fuentes de energía renovables caracterizadas porque actualmente son casi rentables, y tienen la ventaja de ser poco contaminantes (Kalogirou, 2009)

Según Chasseraux (1990), Soteris (2009), Madrid (2009) las fuentes de energías renovables y su utilización como fuentes de energía alternativa son las adecuadas para el desarrollo sostenible de los pueblos mediante el uso de los caudales energéticas de la naturaleza que por ende no son tan contaminantes como las fuentes de origen fósil. Las fuentes de energías renovables que son limpias e inagotables, existirán mientras el Sol exista, están conformadas por: Energía Hidráulica; se obtiene aprovechando los saltos hidráulicos (energía potencial) y los flujos volumétricos (energía cinética) de aguas de los ríos, depende del ciclo del agua,

Energía Solar; procede del sol en forma de radiación electromagnética,

Energía Eólica; proviene de la energía cinética del viento,

Energía de Biomasa; es energía solar acumulada en forma de materia, por el proceso de fotosíntesis, también obtenida por cultivos energéticos: etanol, biodiesel, biogás, algas marinas,

Energía Mareomotriz; se obtiene de la energía potencial de las mareas, de la energía cinética de las olas, y del gradiente térmico de las aguas de los océanos,

Energía Geotérmica; se obtiene del calor interno de la tierra en zonas volcánicas,

Energía del Hidrogeno, se obtiene por separación del hidrógeno y el oxígeno de la molécula del agua por el proceso de electrólisis, la utilización masiva de las fuentes energéticas renovables indicadas, es una las grandes alternativas para mitigar los gases de efecto invernadero (GEI) y en consecuencia el Cambio Climático (CC), algunas de estas han alcanzado un alto grado de desarrollo tecnológico, para ser competitivas requieren de una política de uso masivo bajo normas de regulación y tarifas adecuadas, y otras se encuentran en proceso de madurez tecnológica, requiriéndose

mayor investigación científica y tecnológica. En el cuadro 2 se indica la emisión de CO₂, SO₂, y N_xO en gramos por kilowatts-hora (g/kWh) de energía por cada tipo de energía renovable, considerando la fabricación del sistema y el uso correspondiente.

Cuadro 2

Emisión de CO₂/SO₂/N_xO en gramos/kilowatts-hora (g/kWh), para cada tipo de fuente energética renovable

	CO ₂	SO ₂	NO _x
Cultivos energéticos	17 - 27	0,07 – 0,16	1,1 – 2,5
Hidráulica convencional	3,6 – 11,6	0,009 - 0,024	0,003 – 0,006
Mini hidráulica	9	0,03	0,07
Solar fotovoltaica	98 - 167	0,2 – 0,34	0,18 – 0,3
Solar térmica	26 - 38	0,13 – 0,27	0,06 – 0,13
Eólica	7 - 9	0,02 – 0,09	0,02 - 0,06
Geotérmica	79	0,02	0,28

Fuente: BID (2008)

Ventajas y Desventajas de las Energías Renovables

Aspectos que actualmente se vienen superando Según INRENA (2012); Fernandez (2010); Fak Antony, Durschner, otros (2006) las principales ventajas de las energías renovables es que son inagotables, limpias; porque durante el proceso de transformación en

energía térmica o eléctrica y uso correspondiente no emiten gases de efecto invernadero que contaminen nuestro medio ambiente, los impactos ambientales que producen la construcción de grandes y pequeños sistemas es mínimo comparado con los producidos con el uso de los combustibles fósiles; actualmente son una de las grandes alternativas para mitigar el Cambio Climático en razón a que reducen las emisiones de CO₂, SO₂ y N_xO y para desarrollar cualquier programa mundial o nacional sobre ahorro y uso eficiente de la energía en todos los niveles sociales y productivos de la sociedad, tanto en países desarrollados como en los que se encuentran en proceso de desarrollo; el desarrollo tecnológico para su aprovechamiento eficiente en el campo de la conversión solar térmica y eléctrica, hidráulico, eólico y de la biomasa (biocombustibles) han alcanzado un grado de madurez que la hacen viable económica y ambientalmente para las múltiples aplicaciones industriales, poblacionales, productivas, etc. en el ámbito rural y urbano, en algunos casos el costo del kilowatts-hora producido con estas fuentes energéticas, es competitivo con el costo de la unidad energética producido por los combustibles fósiles; su uso no crea dependencia energética, ni conflictos bélicos entre países; la mayor

parte de estas fuentes son descentralizadas; los sistemas de transformación se instalan en los lugares donde exista el recurso energético natural; muchos de los equipos usados para la transformación energética y uso correspondiente son fáciles de construir en nuestro país, generando empleo profesional y técnico, usando materiales que se producen en nuestro país; dan lugar al creación de empresas de producción y comercialización de equipos y sus componentes; su uso en el sector rural mejora la calidad de vida de dicha población toda vez que les proporciona energía para iluminación, educación, proyectos productivos, comunicación, TV, climatización de ambientes, producción de alimentos en zonas frías, secado de productos agrícolas y alimenticios; las grandes instalaciones para generación de energía eléctrica en nuestros países pueden ser centros de vistas turísticas:

Existe el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) a nivel mundial para la compra de los Bonos de Carbono a los países en desarrollo en los cuales se ejecuten proyectos con utilización de energías renovables, y los países industrializados pagan por cada tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera entre 5 a 15

dólares USA. Podría decir que una ventaja comparativa para que el uso de estas energías aumente apreciablemente, es el constante incremento del precio del barril de petróleo crudo a nivel mundial; y por otro lado la recomendación del Protocolo Internacional del Cambio Climático (IPCC) (OMM, WMO: PNUE, UNEP; 1997, 2000, 2008) que se usen intensivamente las energías renovables para contribuir a mitigar los efectos del Cambio Climático que es un gran problema mundial, igualmente son necesarias para un cambio de la matriz energética regional y nacional, y para la reestructuración del mercado de la energía, primando las opciones de suministro descentralizadas; seguridad en el suministro de energía debido a que asegura y diversifica las provisiones de energía locales disminuyendo los gastos de energía, mejora económica para los países en vías de desarrollo, mejora de la electrificación rural y urbana, generación de nuevos puestos de trabajo.

Las principales desventajas, es que su densidad energética es menor que la de los combustibles fósiles, por ello en el caso de la energía solar se requiere de grandes extensiones de terreno para instalar plantas de gran potencia; en algunos casos la tecnología de

aprovechamiento aún está en la etapa de investigación y/o maduración, como el caso de la energía marina, y de los sistemas de concentración solar, o nuevos materiales para la construcción de celdas fotovoltaicas más eficientes con la consiguiente disminución del costo del kWh; o de sistemas eólicos de eje vertical y/o horizontal que aprovechen la energía del viento con velocidades por debajo de los 5 m/s; en el caso de la energía solar se dispone del sol durante el día, razón por la cual se debe de almacenar energía para la noche, aspecto que actualmente se está superando tecnológicamente, la irradiancia solar que es la energía solar que captamos sobre la superficie terrestre depende de las condiciones meteorológicas del lugar, sobre todo del grado de nubosidad; de la ubicación del lugar, del día y la estación del año (CSP, 2009; EREC, 2008)

Las centrales hidroeléctricas son dependientes del ciclo del agua (precipitación); las instalaciones crean un impacto visual sobre el paisaje natural el cual no es crítico, en el caso de las instalaciones eólicas pueden causar ruido molestos al oído humano, aspecto que está siendo superado por los fabricantes de dichos

equipos; las grandes centrales hidroeléctricas requieren represar el agua en cauces de los ríos causando inundaciones de terrenos, desplazando a poblaciones enteras, y generando gas metano por descomposición de la materia orgánica, incrementando la producción de gases de efecto invernadero; en algunos países se están utilizando terrenos que antes se utilizaban para la producción de alimentos, para producir biocombustibles como el Etanol y los Biodisel, lo que está ocasionando a nivel mundial la escases y el incremento de precios de algunos alimentos, como el maíz, trigo, cebada, aceites.

2.1.4 El sol

El sol tiene la forma de una esfera de diámetro $D_T = 2 \times 10^8 \text{m}$, equivalente a 110 veces el diámetro de la Tierra, con una masa de $2 \times 10^{30} \text{kg}$, y se encuentra a una distancia de la Tierra de $150 \times 10^6 \text{km}$, bajo un ángulo subtendido de 32 minutos, la energía que emite cada segundo al espacio es de $4 \times 10^{26} \text{kW}$, su densidad promedio es de $1,4 \times 10^3 \text{kg/m}^3$, su temperatura superficial es de 5 800 K, ó 5512 °C, su constante de gravitación es del orden de 28 veces mayor que el

de la Tierra, la presión interna es de aproximadamente 7×10^6 kP, la potencia lumínica que emite, llamada intensidad solar, irradiancia solar, o radiación solar que llega fuera de la superficie terrestre por metro cuadrado es en promedio 1364 W/m^2 , llamada Constante Solar, esto es consecuencia de que la Tierra gira en torno al Sol durante el año bajo una trayectoria elíptica (Chasseriaux, 1990; Duffie 1991)

El sol está compuesto por un corazón equivalente a 0,25 del radio de la tierra en el cual la temperatura es de 27×10^6 °F, y se concentra el 10 % de su masa, luego la zona radiativa equivalente a $0,86R_T$, luego la zona convectiva equivalente al R_T , sobre la superficie del sol se encuentra la fotosfera que tiene un espesor de 500 km, esta es la zona visible del sol, y en la cual se observan las denominadas manchas solares; sigue la Cromósfera con un espesor de 10 000 km, luego la Corona con un espesor equivalente de $10R_T$, finalmente se ubica la zona correspondiente al denominado Viento Solar, se compone de hidrógeno (71%); helio (27%) y otros elementos más pesados (2%). En el centro se transforman los átomos de Hidrógeno en átomos de Helio bajo un proceso de fusión nuclear,

el resultado neto de estos procesos es que cuatro núcleos de hidrógeno se combinan para formar un núcleo de helio, y la energía surge en forma de radiaciones gamma.

Cada cm^2 de la superficie del sol produce una energía de 6300 Joule; en 15 minutos proporciona a la Tierra, el equivalente a la energía consumida en la Tierra en un día; y en tres días proporciona a la Tierra el equivalente a todas las reservas energéticas contenidas en los combustibles fósiles.

La vida útil del sol es de cinco billones de años, y los especialistas más optimistas indican diez billones, el sol se mueve en el espacio interestelar a razón de 19 km/s, rota sobre su propio eje cada 25 días, y gira alrededor de nuestra galaxia a 225 km/s, dando una vuelta completa sobre esta en un tiempo de 25×10^6 años. En la figura 1 se muestra el movimiento de la Tierra, alrededor del sol durante un periodo de un año bajo un movimiento combinado de traslación y rotación, la rotación lo hace su propio eje, debido a lo cual se tiene el día y la noche sobre la tierra, el cual forma un ángulo de $\pm 23^\circ 27'$ respecto del eje polar, esto se debe que el movimiento

de la tierra sobre su propio eje es parecido al que realiza un trompo, este ángulo se le denomina la declinación solar (δ): es el ángulo formado por el plano del ecuador, y el plano de la órbita terrestre, debido a la inclinación del eje de la tierra.

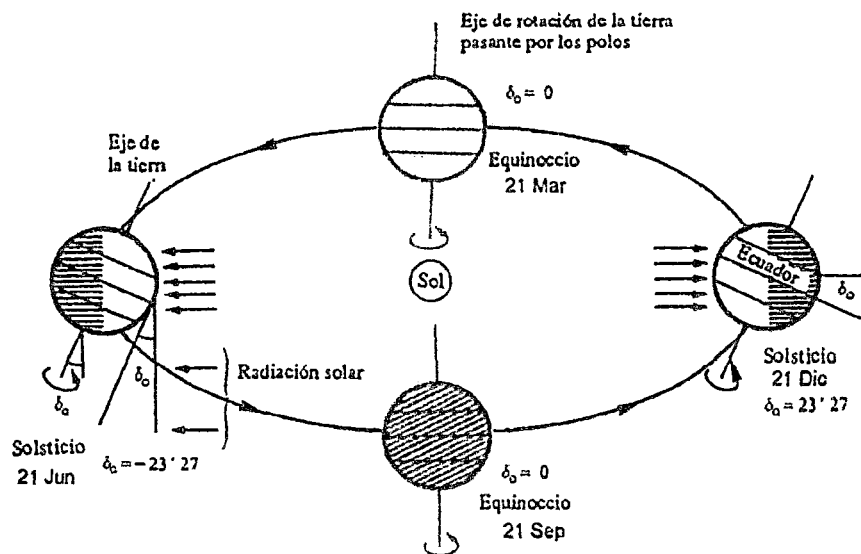


Figura 1: Movimiento de la Tierra alrededor del sol durante el año

Fuente: Elaboración propia (2012)

Según Dunn, (1994), la declinación es función de la fecha, siendo máxima en el solsticio de verano ($\delta = +23,45^\circ$ el 21 de diciembre), nula en los equinoccios ($\delta = 0^\circ$ el 21 de setiembre y el 21 de marzo) y mínima en el solsticio de invierno ($\delta = -23,45^\circ$ el 21 de junio), se puede estimar analíticamente para cualquier fecha del año

con suficiente precisión considerando que es una función sinusoidal del día ordinal del año d , con valor nulo el 22 de marzo (81 día del año) mediante la siguiente expresión:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[360 \frac{d-81}{365} \right] \quad (2.1)$$

El movimiento de la Tierra alrededor del Sol da lugar a las estaciones del año. La irradiancia solar que es la potencia de la energía solar por metro cuadrado que llega a la superficie terrestre depende de la latitud y longitud del lugar, como también de la fecha del año, de las condiciones meteorológicas (nubosidad), y del ángulo horario (ω), formado entre la posición del sol a la hora considerada y su posición al mediodía, medido sobre el círculo de su órbita. Por definición el medio día solar local (12:00h) es el instante en que el sol está en el cenit de su recorrido en el cual $\omega = 0^\circ$, a las seis de la mañana $\omega = 90^\circ$, y las seis de la tarde $\omega = -90^\circ$, para determinar el ángulo horario se usa la siguiente expresión en función de la hora solar local t_s (0:00 a 24:00 horas):

$$\omega = 15 (t_s - 12) \quad (2.2)$$

2.1.5 Energía solar y sus características

Se conoce por radiación solar o energía solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra, su unidad es el W/m^2 (Fernandez Diez, 2009)

Es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las que recibimos, comprendidas entre $0,4\mu m$ y $0,7\mu m$, pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como espectro visible o

luz visible, de la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta.

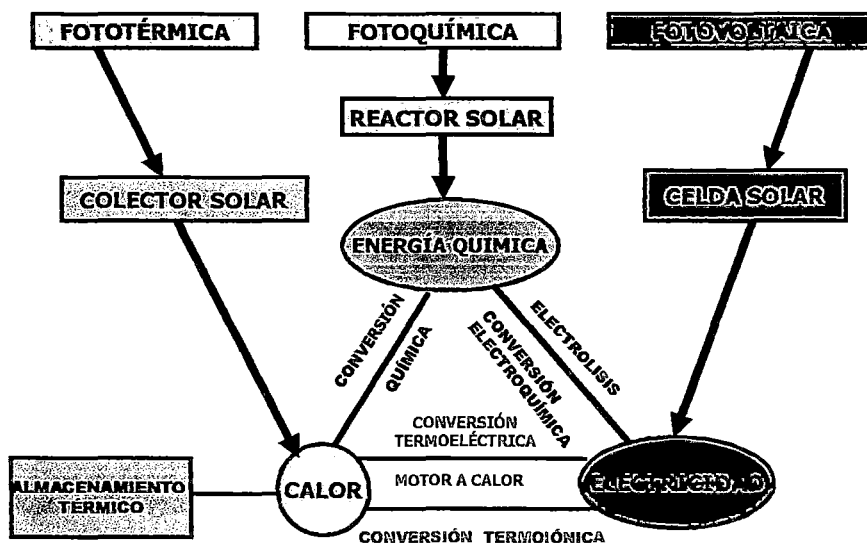


Figura 2: Formas energéticas en que puede transformarse la energía solar en calor y electricidad

Fuente: Elaboración propia (2012)

En el esquema de la figura 2, se muestran las tres formas básicas de conversión de la energía solar, que por su naturaleza es energía electromagnética: fototérmica, fotoquímica y fotovoltaica.

En la conversión fototérmica, usando colectores solares la transformamos en calor útil, la cual la podemos almacenar

térmicamente usando fluidos de trabajo, como calor sensible o calor latente, y bajo un ciclo termodinámico transformarlo en electricidad. La conversión fotoquímica requiere de un reactor solar (biodigestor, batería, fotosíntesis) para transformarla en energía química, la cual por un proceso de conversión química la transformamos en calor, como también a través de procesos de electrolisis y conversión electroquímica transformarla en electricidad, esta energía eléctrica bajo la conversión termoiónica se puede transformar en calor. Con la conversión fotovoltaica a través de celdas solares podemos obtener energía eléctrica.

La energía proveniente del sol y que llega a la superficie terrestre, es bajo cuatro formas:

a) Irradiancia directa: Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección, este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

b) Irradiancia difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta

radiación va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc.; este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

c) Irradiancia reflejada: Es la radiación reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

d) Irradiancia global Es la irradiancia total, es decir la suma de las irradiancias directa y la difusa. En un día despejado, con cielo limpio, la irradiancia directa es preponderante sobre la irradiancia difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe irradiancia directa y la totalidad de la irradiancia que incide es difusa.

Los distintos tipos de colectores solares aprovechan de forma distinta la irradiancia solar. Los colectores solares planos, por ejemplo, captan la irradiancia total (directa + difusa), sin embargo, los colectores de concentración sólo captan la irradiancia directa. Por esta razón, los colectores de concentración suelen situarse en zonas de muy poca nubosidad y con pocas brumas. La aplicación de la Ley de Planck al Sol con una temperatura superficial de unos 6000 K nos lleva a que el 99 % de la radiación emitida está entre las longitudes de onda 0,15 μm y 4 μm , el Sol emite en un rango de 1500 Å hasta 40 000 Å.

La luz visible se extiende desde 4000 a 7400 Å; la radiación ultravioleta u ondas cortas, desde los 1500 a los 4000 Å y la radiación infrarroja u ondas largas, desde las 0,74 a 4 μm . La atmósfera de la Tierra constituye un importante filtro que hace inobservable radiaciones de longitud de onda inferior a las 0,29 μm por la fuerte absorción del ozono y oxígeno. Esto nos libra de la radiación ultravioleta más peligrosa para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24 μm , ello no afecta a la radiación solar, pero sí, a la energía

emitida por la Tierra que llega hasta las 40 μm y que es absorbida, a este efecto se conoce como efecto invernadero. La atmósfera es diatérmica es decir, que no es calentada directamente por la radiación solar, sino de manera indirecta a través de la reflexión de dicha radiación en el suelo y en la superficie de mares y océanos.

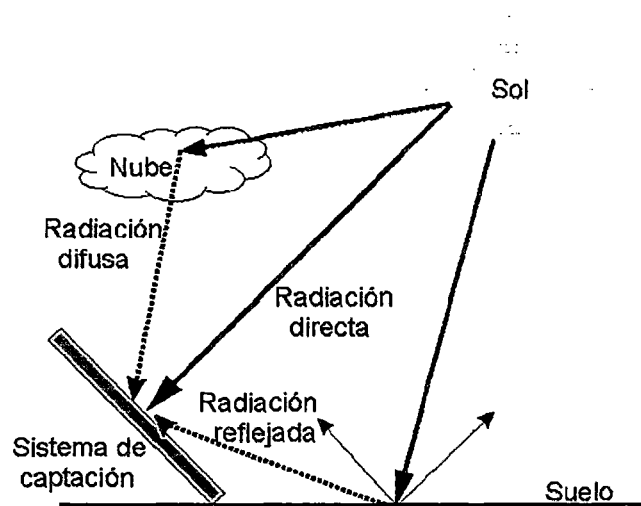


Figura 3: Diagrama de las formas en que la radiación solar llega a la superficie terrestre

Fuente: CHASSERIAUX (1990)

La energía solar tiene longitudes de onda entre 0,15 micras y 4 micras por lo que puede ionizar un átomo, excitar electrones, disociar una molécula o hacerla vibrar. La energía térmica de la Tierra (radiación infrarroja) se extiende desde 3 micras a 80 micras por lo

que sólo puede hacer vibrar o rotar moléculas, es decir, calentar la atmósfera.

e) La radiación ultravioleta; es emitida por el Sol en longitudes de onda que van aproximadamente desde los 150 nm (1500 Å), hasta los 400 nm (4000 Å), en las formas UV-A, UV-B y UV-C pero a causa de la absorción por parte de la atmósfera terrestre, el 99% de los rayos ultravioletas que llegan a la superficie de la Tierra son del tipo UV-A, ello nos protege de la radiación ultravioleta más peligrosa para la salud. La atmósfera ejerce una fuerte absorción que impide que la atraviese toda radiación con longitud de onda inferior a 290 nm (2900 Å). La radiación UV-C no llega a la tierra porque es absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera, por lo tanto no produce daño. La radiación UV-B es parcialmente absorbida por el ozono y llega a la superficie de la tierra, produciendo daño en la piel, esto se ve agravado por el agujero de ozono que se produce en los polos del planeta y otras regiones debido al uso de los gases fluorclorocarbonados (CFC).

f) Radiación infrarroja de más de 760 nm, es la que corresponde a longitudes de onda más largas y lleva poca energía

asociada. Su efecto aumenta la agitación de las moléculas, provocando el aumento de la temperatura. El CO₂, el vapor de agua y las pequeñas gotas de agua que forman las nubes absorben con mucha intensidad las radiaciones infrarrojas, la atmósfera se desempeña como un filtro ya que mediante sus diferentes capas distribuyen la energía solar para que a la superficie terrestre sólo llegue una pequeña parte de esa energía. La parte externa de la atmósfera absorbe parte de las radiaciones reflejando el resto directamente al espacio exterior, mientras que otras pasarán a la Tierra y luego serán irradiadas. Esto produce el denominado balance térmico, cuyo resultado es el ciclo del equilibrio radiante. Casi toda la radiación ultravioleta y gran parte de la infrarroja son absorbidas por la atmósfera.

El sol irradia energía por cada segundo al espacio en forma de partículas de alta energía y de radiación electromagnética es aproximadamente de $5,6 \times 10^{35}$ GeV y de ella, la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera un total de $1,73 \times 10^{14}$ kW, o sea 1364 W/m^2 , que se conoce como constante solar y cuyo valor fluctúa en un $\pm 3\%$ debido a la variación periódica de la distancia entre la Tierra y el Sol.

Los $1,73 \times 10^{14}$ kW de energía solar que inciden sobre la Tierra, se reparten en la siguiente forma: energía solar reflejada por la atmósfera hacia el espacio exterior: 30% equivalente a $0,52 \times 10^{14}$ kW; Energía solar que se utiliza en calentar la atmósfera: 45%, equivalente a $0,80 \times 10^{14}$ kW; energía solar que se utiliza en la evaporación de agua de los océanos (ciclo del agua): 23%, equivalente $0,40 \times 10^{14}$ kW; energía solar que se utiliza en generar perturbaciones atmosféricas, como el viento: $0,0037 \times 10^{14}$ kW (21,38%), la energía solar utilizada en la fotosíntesis (biomasa): $0,0004 \times 10^{14}$ kW (2,31%). (Fak Antony, 2006)

De lo anterior se deduce, que el 47% de la energía solar incidente alcanza la superficie terrestre, de forma que el 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser difundida por el polvo, vapor de agua y moléculas de aire, el resto de la energía solar, el 53%, no alcanza la superficie de la Tierra, ya que: un 15% es absorbida por la troposfera, (agua, ozono y nubes), un 23% es reflejada por las nubes, un 7% es reflejada por el suelo, un 2% es absorbida por la estratosfera, principalmente por el ozono, y el 6% restante es la energía difundida hacia el cielo por la atmósfera.

Esta radiación está formada aproximadamente en un 47% por el espectro visible, 46% por el espectro infrarrojo, y 7% por el espectro ultravioleta. El espectro ultravioleta está determinado por longitudes de onda dentro del intervalo (0,009 – 0,39) μm , el espectro visible por el intervalo (0,39 – 0,79) μm y el infrarrojo por (0,79–1000) μm . La figura 4 muestra el espectro electromagnético del sol que llega a la superficie terrestre.

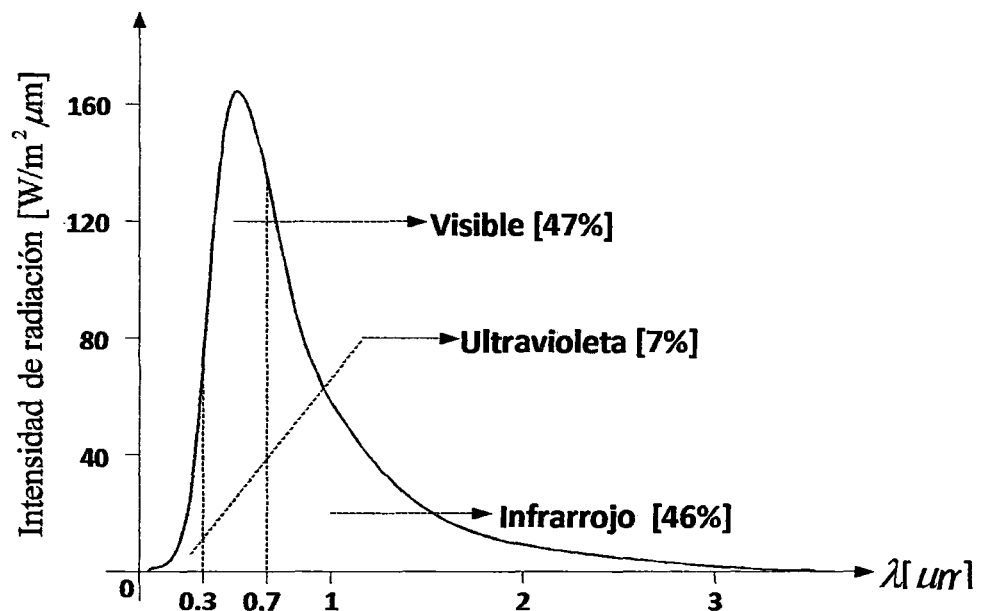


Figura 4: Espectro de la energía solar incidente sobre la superficie terrestre

Fuente: CHASSERIAUX (1990)

g) La radiación solar extraterrestre, es la energía solar recibida por unidad de superficie y por unidad de tiempo (por término medio) sobre una superficie enfrentada al Sol (perpendicular a los rayos solares), situada en el límite de la atmósfera, a la distancia media entre la tierra y el Sol cuyo valor medio es 1364 W/m^2 , la cual es prácticamente una constante durante todo el año y es conocida como la constante solar H_{es} . Aunque existen pequeñas variaciones periódicas de la emisión de la radiación solar, debido principalmente a ligeras modificaciones de la región ultravioleta generada por el ciclo de las manchas solares.

Debido a que la órbita de la tierra es ligeramente elíptica resulta que la intensidad de la radiación solar extraterrestre H_0 es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la tierra-sol, H_0 varía entre un máximo de 1398 W/m^2 en el perihelio (3 de enero) y un mínimo de 1310 W/m^2 en el afelio (6 de julio). La variación anual es de $\pm 3,35\%$, pudiéndose considerar una función sinusoidal, por lo que H_0 se puede estimar para cualquier día del año d (d es igual a uno el 01 de enero y 365 el 31 de diciembre), mediante la siguiente expresión:

$$H_0 = H_{es} \left[1 - 0.0335 \cdot \text{sen} \left(360 \frac{d-95}{365} \right) \right] \quad (2.3)$$

La energía que suministra el Sol es ilimitada, inagotable y limpia, su impacto sobre el medio ambiente, evidentemente, es positivo. (Duffie y Beckmann, 1991)

2.1.6 Potencial energético solar

Antes de tratar específicamente sobre el potencial solar, es necesario saber algunas definiciones fundamentales.

a) Duración astronómica del día o fotoperíodo (N):

El Senamhi, DEP-MEM (2002) lo define como el período de iluminación solar comprendido desde la salida hasta la puesta del sol. También se le conoce como duración del día solar o duración máxima del día, se determina por la ecuación siguiente:

$$N = (1/7,5) \times \text{arc cos} \left[(\cos 85^\circ - \text{sen}_F \text{sen}_d) / \cos_F \cos_d \right] \quad (2.4)$$

Donde; F es la latitud del lugar, y d es la declinación solar para el día del año elegido

b) Heliofanía (n):

Es el tiempo, en horas, durante el cual el sol tiene un brillo solar efectivo en el que la energía solar directa alcanza o excede un valor umbral variable entre 120 y 210 W/m^2 , que depende de su localización geográfica, del equipo, del clima y del tipo de banda utilizada para el registro. También se le suele denominar “brillo solar” ó “insolación”. (OMM, 1992); Rodriguez y Gonzales, (1992)

c) Irradiancia solar:

Potencia solar incidente en una superficie por unidad de área, su unidad es el W/m^2 .

d) Radiación solar:

Según Grossi y otros (2011), es la energía electromagnética emitida por el sol, transferida o recibida. El término radiación se aplica al cuerpo que radia, mientras que el término irradiación al objeto expuesto a la radiación. Estrictamente, la superficie terrestre es irradiada y los mapas y tablas son de irradiación solar, sin embargo, aún hoy en día suele usarse el término radiación para

referirse a la irradiación. Las cantidades de radiación se expresan generalmente en términos de irradiancia o irradiación.

Para cuantificar o determinar el potencial energético solar de un determinado lugar, se debe de contar con datos diarios, mensuales, anuales de **horas de sol** (heliofonía) obtenidas mediante heliógrafos, o de **irradiancia solar global, difusa y directa** sobre superficie horizontal o inclinada, en valores horarios, diarios, mensuales, y anuales medidas con solarímetros en forma manual o con estaciones meteorológicas automatizadas, y también con observaciones y registros satelitales.

El método utilizado por el investigador o la institución encargada de los registros, dependerá de los instrumentos que disponga y de la exactitud de la información que quiera obtener; en el caso de disponer de horas de sol, es necesario el uso de modelos matemáticos validados universalmente, datos meteorológicos y geográficos del lugar elegido.

Para calcular la radiación solar horizontal diaria extraterrestre (H_{eo}) en (W/m^2), sobre un plano horizontal en un instante determinado depende de la intensidad de la radiación solar extraterrestre H_{oe} afectada por el seno del ángulo solar de altura A , según la ley del coseno:

$$H_{oh} = H_{oe} \cdot \text{sen}A \quad (2.5)$$

Donde la radiación solar diaria horizontal extraterrestre H_0 en términos energéticos por metro cuadrado de superficie en un día ($Joule/m^2\text{día}$) se calcula integrando la intensidad H_{oh} entre los ángulos horarios ω_0 del orto y el ocaso:

$$H_0 = \int_{-\omega_0}^{\omega_0} H_{oe} \cdot \text{sen}A \cdot d\left(\frac{24 \times 3600}{2\pi} \omega\right) \quad (2.6)$$

Sustituyendo la ecuación del ángulo de altura solar A (complementario al ángulo cenital z) e integrando entre los límites, se tiene:

$$H_0 = H_{oe} \cdot \frac{86400}{\pi} (\text{sen } \varphi \cdot \text{sen} \delta \cdot \omega_0 + \text{cos } \varphi \cdot \text{cos} \delta \cdot \text{sen} \omega_0) \quad (2.7)$$

El mismo procedimiento se aplica en el caso de contar con valores horarios diarios de la irradiancia solar incidente sobre una superficie horizontal sobre la superficie terrestre y se quiera saber el valor de esta sobre una determinada superficie inclinada.

Para calcular la irradiancia solar horizontal diaria (H); y se carece de datos directos de la radiación solar horizontal diaria (H), pero se cuenta con las horas de sol diarias (Heliofonía), esta se puede deducir con un cierto grado de fiabilidad a partir de otros parámetros que se suelen medir en estaciones meteorológicas. Según estudios realizados por Lund en la estación Blue Hill, se compararon cuáles eran los mejores estimadores para deducir la insolación K_t , definida como la razón entre la radiación solar diaria terrestre y la extraterrestre:

$$K_t = H/H_0 \quad (2.8)$$

Los estimadores comparados, sobre los que existen numerosas referencias, fueron principalmente: registros de temperatura ambiente del aire (medias, máximas, mínimas), vientos (dirección y

velocidad), número de horas efectivas, nubosidad, presión atmosférica, humedad o presión de vapor, número de horas de lluvia.

Los estudios de correlación entre la insolación y el número de horas de sol efectivas (heliofonía), según la referencias, fueron iniciados por Kimball y Ångstrom en los años 1920, que propuso la siguiente ecuación en función de la relación (n/N) en Joule/m²día:

$$Kt = \frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (2-9)$$

Según Sánchez, Rodriguez y otros (1993), **H** es la irradiación solar medida en superficie, **H₀** es la irradiación solar en el tope de la atmósfera para el día elegido, **n** son las horas de sol efectivas o heliofanía y **N** es la duración astronómica del día para una fecha del año y latitud específica. Los coeficientes empíricos **a** y **b** tienen un significado físico, donde **a+b** representa el valor máximo de la transmisividad de la atmósfera (τ) mientras que el coeficiente **a** representa el mínimo valor de τ . Page determinó las constantes a y b para numerosas regiones del planeta, llegando a la conclusión que

dichos valores son característicos de las regiones consideradas, y que difieren de una región a otra. Ver cuadro 3.

Cuadro 3

Valores de los coeficientes a y b del modelo Ångström-Prescott para diferentes zonas del Perú.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	a	b	Número de datos	Error (%)
COSTA				
Miraflores	0,355	0,392	3 681	-2,4
A. Von Humbolt	0,211	0,467	12 156	12,9
San Camilo	0,321	0,468	2 241	-0,4
La Joya	0,543	0,181	7 574	2,8
SIERRA				
Bambamarca	0,322	0,336	2 697	6,6
Weberbauer	0,231	0,521	1 859	-2,7
Cosmos	0,320	0,384	929	7,4
Huayao	0,397	0,379	6 285	2,2
Granja Kayra	0,376	0,364	2 199	3,4
Chuquibambilla	0,395	0,384	1 892	-2,1
Puno	0,378	0,438	2 805	9,2
Characato-La Pampilla	0,367	0,396	1 220	10,7

Fuente: SENAMHI, DEP-MEM (2002)

El potencial energético solar para un determinado lugar sobre la superficie terrestre, en unidades de Wh/m^2 día se calcula a partir del valor de la irradiancia solar multiplicada por el tiempo de incidencia de la irradiancia solar, esta puede ser sobre una superficie horizontal o inclinada, y ser global, directa, difusa o reflejada (albedo), el tiempo correspondiente puede ser de minutos, horas, días, meses y un año, en valores instantáneos, acumulados y promedios horarios, diarios, semanales, mensuales, estacionales y anuales.

En el caso de contar con valores promedios la irradiancia solar en W/m^2 , para determinar la energía correspondiente, y para obtener el valor promedio anual en kWh/m^2 día, el valor promedio anual de la irradiancia solar en W/m^2 día se multiplica por 24/1000.

Por otro lado, hoy en día existen sistemas que registran automáticamente la irradiancia y la energía equivalente, en estos casos es necesario programar el registro de datos de acuerdo al requerimiento.

2.1.7 Instrumentos para medir la irradiancia solar

Las mediciones solarimétricas en la superficie terrestre son importantes y de interés para las aplicaciones de energía solar, cuantificar el potencial energético solar, para el dimensionamiento de sistemas, y los relacionados a la variabilidad y cambio climático.

Según OMM (1993) los instrumentos, en general, convierten la energía de la radiación incidente en otra forma de energía que puede ser medida más convenientemente, dependiendo del principio en el cual está basado el sensor correspondiente, los instrumentos pueden ser clasificados como térmicos, termoeléctricos, fotoeléctricos, entre otros, es muy importante la respuesta uniforme a las longitudes de onda entre 0,3 y 3 μm

Actualmente, para mediciones piranométricas son utilizadas fotoceldas de silicio monocristalino cuyo costo es de 10 a 20 % del costo de los instrumentos que usan termopilas. Su mayor limitación es la no uniformidad de respuesta espectral en una región relativamente limitada de longitudes de onda en la cual la fotocelda

es sensible (0,4 a 1,1 μm con un máximo alrededor de los 0,9 μm). Cerca del 99 % del espectro solar se extiende entre 0,27 a 4,7 μm , por tanto el intervalo de sensibilidad de las fotocélulas comprende el 66 % de la radiación.

Las fotoceldas y las termopilas realizan mediciones esencialmente diferentes. La fotocelda cuenta el número de fotones con energía mayor que la diferencia existente entre dos bandas de energía del material con las cuales esos fotones interactúan (banda de energía prohibida del silicio). La energía en exceso de los fotones es simplemente disipada en forma de calor. Una termopila mide potencia por lo tanto, el momento de primer orden de la distribución espectral.

a) Pirheliómetros.: Son instrumentos que miden la irradiancia directa del sol en una superficie perpendicular al rayo solar. En estos instrumentos, el receptor se encuentra protegido de la irradiación indirecta y está usualmente ubicado en el fondo de un tubo, por ello las diferentes formas del receptor y del tubo derivan en diferentes tipos de pirheliómetros. De acuerdo a la Organización

Meteorológica Mundial (OMM, 1993), los pirheliómetros pueden clasificarse en “patrones primarios”, “patrones secundarios” y “pirheliómetros de campo”.

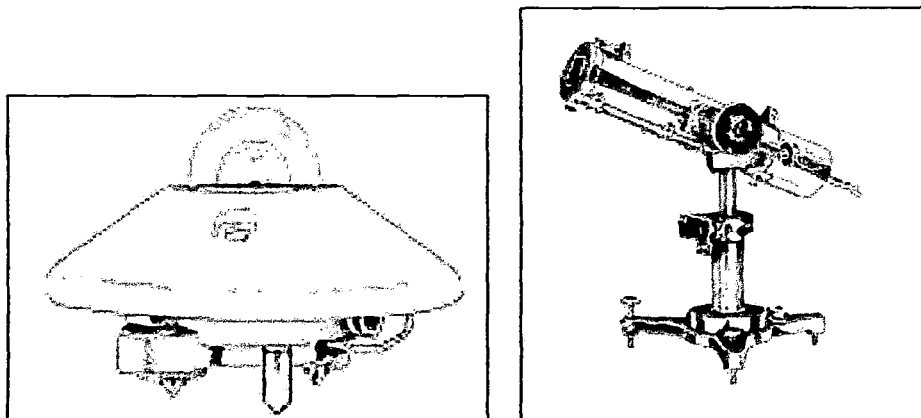


Figura 5: Pirheliómetro de Ångström (derecha); Vista de un Piranómetro Kipp & Zonen (izquierda)

Fuente: OMM (1993)

b) Piranómetros: Son instrumentos que miden la irradiación solar global (directa y difusa) en un plano horizontal. El elemento receptor debe estar horizontal y libremente expuesto al hemisferio celeste, pero debe estar protegido de la irradiación que regresa del suelo y los alrededores. Al encontrarse expuesto a todo tipo de condiciones ambientales, el piranómetro debe ser robusto en su estructura y resistir la corrosión del aire húmedo, además, su elemento receptor debe encontrarse debidamente aislado

(herméticamente cerrado) por una cubierta de vidrio y ser de fácil desmontable para su desecación, por ello se recomienda la revisión diaria del instrumento.

Los piranómetros normalmente usan sensores termoelectricos, fotoelectricos, piroelectricos o elementos bimetálicos; sus propiedades en relación a su grado de precisión y confiabilidad son: sensibilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, respuesta cosenoidal, respuesta azimutal, linealidad, respuesta de temperatura y respuesta espectral. En este caso el solarímetro debe de ubicarse en un lugar libre de sombras, a una altura de 10 m respecto del suelo, tal como lo indica la Organización Mundial Meteorológica (OMM) ó (WMO).

c) Heliógrafo: Este instrumento fue inventado en Inglaterra por Campbell en 1853 y fue modificado por Stokes en 1879. Es un instrumento que registra la cantidad de horas de sol total en horas y décimos, durante el día en un lugar determinado. Es esencialmente una esfera de vidrio sólido pulido con un eje montado paralelo al de la tierra; es necesario orientar el plano vertical que pasa por el eje, e inclinar un ángulo igual a la latitud del lugar. La esfera actúa como un

lente y la imagen focalizada se mueve a lo largo de una banda de papel especialmente preparada que tiene una escala de tiempo de acuerdo a la estación del año.(Tavera y Peñafiel, 1992)

La quemadura de la banda ocurre cuando la irradiación solar directa supera un límite variable de 120 a 210 W/m^2 , que depende de la ubicación (turbidez atmosférica, altitud, humedad atmosférica), el clima, el tipo de banda de registro utilizada y los métodos de análisis. Mediante el uso de correlaciones simples, con coeficientes apropiados, las series históricas de insolación pueden ser utilizadas para estimar la irradiancia solar diaria, media mensual o anual, con errores mínimos del orden de 10 %.

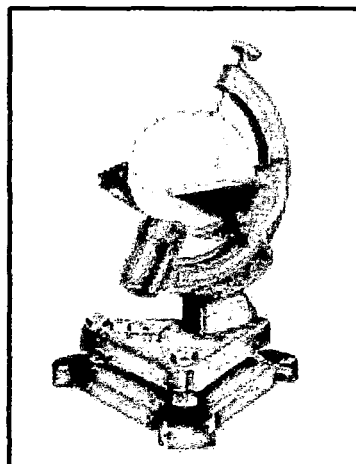


Figura 6: Heliógrafo de Campbell-Stokes

Fuente:OMM (1993)

2.1.8 Aplicaciones de la energía solar:

Según Trieb (2007) la energía solar es el recurso energético más abundante del planeta, el flujo solar puede ser utilizado para suministrar calefacción, fluidos calientes o electricidad, para esto existen tres modalidades de aprovechamiento.

a) La arquitectura solar pasiva: que aprovecha al máximo la luz natural, valiéndose de la estructura y los materiales de edificación para capturar, almacenar y distribuir el calor y la luz.

b) Los sistemas solares activos: que se valen de bombas o ventiladores, diferencia de densidad de un fluido, para transportar el calor desde el punto de captación, hasta el lugar donde se precisa el calor o agua caliente. Se divide en tres grandes grupos: Baja temperatura: no mayor de 100 °C (termas, cocinas, secadores, invernaderos, piscinas, saunas, destiladores solares, chimenea solar, poza solar); temperatura media: entre 100 y 250 °C (cocinas y hornos solares); y alta temperatura: mayor de 250 °C (concentradores solares, hornos solares de alta temperatura)

c) Celdas Fotovoltaicas: aprovechan la inestabilidad electrónica de elementos como el Silicio, para provocar con el aporte de la luz solar (efecto fotovoltaico), una corriente eléctrica capaz de ser almacenada, y dotar de energía eléctrica a la sociedad, en general para diversos usos y necesidades (Lorenzo 1994).

d) Enfriamiento solar: Se puede producir frío con el uso de energía solar, usando una fuente de calor solar en un ciclo de enfriamiento por absorción. En general, se requieren temperaturas superiores a 150 °C para que los dispositivos de absorción trabajen con eficacia, en este aspecto los colectores de concentración son más apropiados que los de placa plana. (Trieb, 1995)

En las siguientes vistas fotográficas se muestra la múltiples aplicaciones de la energía solar, en sus dos grandes espectros de aplicaciones; térmicas y eléctricas. Hoy en día en casi todo el planeta, desde los países industrializados hasta los en proceso de desarrollo, están usando equipos y sistemas para la generación de calor y electricidad a pequeña y gran escala. Para calentar agua a

temperaturas no mayor a 100 °C se utilizan las denominadas **termas solares** a circulación natural y a convección forzada, las cuales se

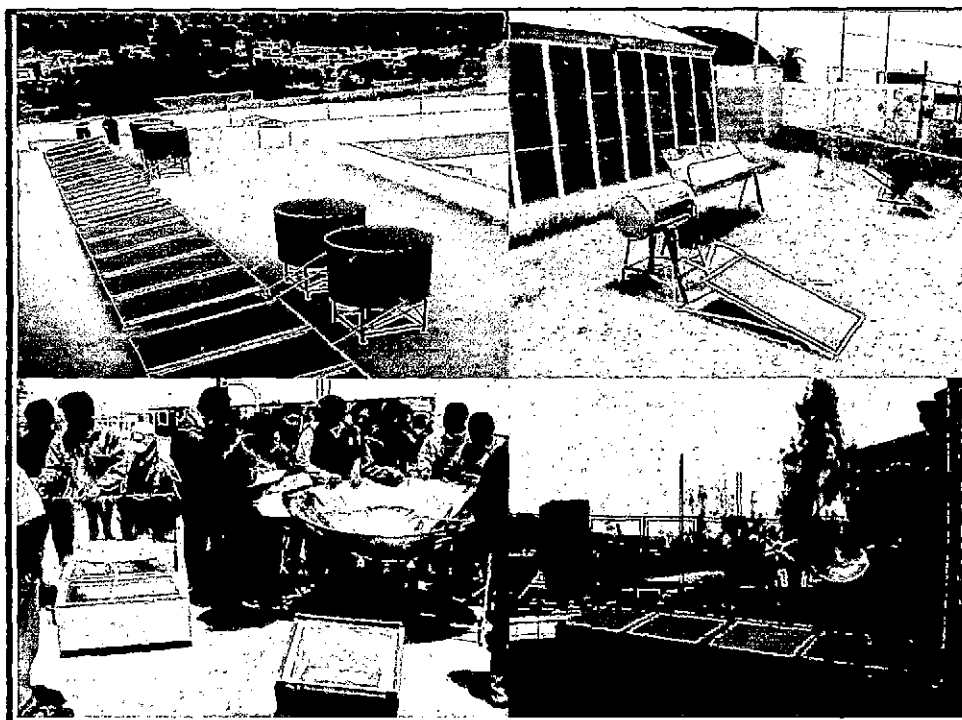


Figura 7: Vista de sistemas solares térmicos de baja temperatura, desarrollados en el CERT-UNJBG, y empresas nacionales

Fuente: Elaboración propia (2012)

fabrican localmente, a nivel nacional, o se pueden importar, existiendo en el mercado diferentes modelos y costos, para calentamiento de agua desde volúmenes de 50 a miles de litros,

según sea la demanda de agua caliente, estas se utilizan en los hogares, hospitales, hoteles, campamentos y en empresas que requieran agua a la temperatura indicada. Igualmente se usa la energía solar para temperar agua de piscinas.

Para calentar aire a temperaturas no mayor de los 100 °C se cuenta con secadores solares, para el deshidratado de productos agrícolas y alimenticios, invernaderos solares; para el cultivo de plantas en zonas frías, saunas solares con fines medicinales, destiladores solares de agua de mar y contaminadas; también se usa la energía solar para la bioclimatización de ambientes para el confort poblacional y el aprovechamiento de la luz natural durante el día en edificios y grandes conjuntos habitacionales con el consiguiente ahorro de energía.

Usando las cocinas solares de concentración se obtienen temperaturas por encima de los 200 °C, las cuales existen en el mercado en diferentes modelos y grado de calentamiento, con los cuales se pueden preparar (hervir) los alimentos diarios, incluso freír y hornear, estos sistemas requieren de una orientación perpendicular

diaria al sol, es decir que siga al sol durante el día a efectos de aprovechar la radiación solar directa, también existen las cocinas solares tipo homo, en las cuales las temperaturas alcanzadas es del orden de los 100 °C, dependiendo del modelo utilizado

Según TREC, (2007) y Trieb, (2007); en los países de la Comunidad Económica Europea, Medio Oriente, EE.UU, y otros vienen funcionando cuatro grandes sistemas de concentración solar: Concentrador Cilíndrico Parabólico (CCP), Concentrador de Torre Central, Concentrador Fresnell de Foco Lineal, y el sistema de Concentración Disco Stirling, caracterizados porque ocupan grandes áreas de terreno, sobre todo de los desiertos, y producen energía eléctrica a gran escala que suministran energía a la red pública, estos sistemas funcionan con la energía solar directa, es decir la que se tiene cuando el sol brilla bajo cielo semidespejado o despejado, para ello deben de contar con un sistema automático de seguimiento del sol, denominados tracks de uno o dos ejes.

Utilizan como fluidos de trabajo vapor de agua sobrecalentado, aceites, sales fundidas a temperaturas entre los 350 a 2000 °C, y a

alta presión, y bajo el principio de un ciclo termodinámico y un generador eléctrico, producen energía eléctrica a gran escala, actualmente existen plantas de decenas de Megawatts, incluso siguen suministrando energía eléctrica luego que el sol se ha ocultado bajo sistemas de acumuladores térmicos; el motor Stirling es el único en el mundo que funciona sin combustibles; estos sistemas también generan vapor de agua a media y alta temperatura para diversos fines (EREC, 2008; Trieb, 2007)



Figura 8: Sistemas solares fotovoltaicos domiciliarios rurales en la zona altoandina de la región Tacna

Fuente: Archivo propio (2012)

Por otro lado aprovechando el principio físico del efecto fotovoltaico de algunos materiales semiconductores y de películas

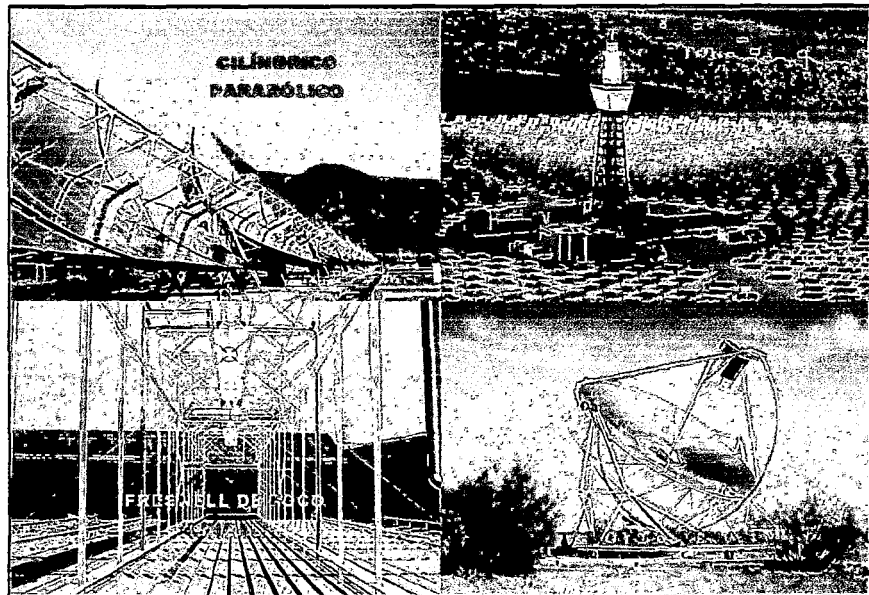


Figura 9: Vista de los sistemas de concentración solar para la generación de vapor y energía eléctrica

Fuente: CSP (2009)

finas, a través de las denominadas celdas solares, se dispone a nivel comercial diferentes tipos de paneles fotovoltaicos conformados por un conjunto de celdas solares conectadas en serie y en paralelo, del orden de unos cuantos a cientos de watts que transforman la energía solar directamente a energía eléctrica en corriente y voltaje continuo, la cual es necesaria acumularla en baterías durante el día, para que en las noches y días nublados puedan alimentar de energía eléctrica a

las cargas de consumo correspondiente, si estas funcionan a voltaje alterno, se debe utilizar un conversor de voltaje, lo ideal es usar estos sistemas con cargas de bajo consumo energético, actualmente estos sistemas son altamente rentables en zonas rurales a las cuales no es posible que llegue la red pública de electricidad, para lo cual en nuestro país y otros existen proyectos exitosos de electrificación rural, por otro lado existen plantas fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica pública del orden de los megawatts, las cuales utilizan como sistema de “acumulación” de la energía eléctrica al sistema de la red eléctrica. (LORENZO, 1994; FAK Y OTROS, 2006; FERNANDEZ, 2009)

Estos sistemas al igual que los termosolares son completamente modulares, es decir si aumenta la demanda de energía, se aumenta el número de paneles fotovoltaicos y/o colectores solares.

2.1.9 Factores de conversión de la energía

La energía se manifiesta realizando un trabajo, en el SI

(Sistema Internacional de Unidades) la unidad de energía es el Joule, el cual define como el trabajo realizado cuando una fuerza de un newton desplaza un masa una distancia de un metro. En la vida corriente es frecuente usar la Caloría, las calorías con las que se miden el poder energético de los alimentos, una kilocaloría (kcal) es igual a mil calorías: $1 \text{ kcal} = 4,186 \times 10^3 \text{ Joule}$. Para la energía eléctrica se usa el kilovatio-hora ó kilowatts-hora (kWh). Es el trabajo que realiza una maquina cuya potencia es de un kilowatts-hora durante una hora, ($1 \text{ kWh} = 36 \times 10^5 \text{ Joule}$)

Cuadro 4

Equivalencias entre unidades de energía

Una kilocaloría (kca)	=	$4,186 \times 10^3 \text{ Joule}$
Un kilowatts-hora (kWh)	=	$36 \times 10^5 \text{ Joule}$
Una TEC	=	$29,3 \times 10^9 \text{ Joule}$
Una TEP	=	$41,84 \times 10^9 \text{ Joule}$

Fuente: Elaboración propia (2012)

Quando se estudian los combustibles fósiles como fuente de energía se usa dos unidades: TEC (tonelada equivalente de carbón):

es la energía liberada por la combustión de una tonelada de carbón; y la TEP (tonelada equivalente de petróleo), es la energía liberada por la combustión de una tonelada de crudo de petróleo; una TEC = $29,3 \times 10^9$ Joule, y una TEP = $41,84 \times 10^9$ Joule. Ver cuadro 4.

2.2 Soluciones a la crisis de la energía y al cambio climático

2.2.1 Evolución y crisis de la energía

Desde la existencia del hombre sobre la tierra hasta los tiempos actuales, para cubrir sus necesidades de alimentos, sobrevivencia, desarrollo industrial y tecnológico, calidad de vida, etc, ha requerido disponer energía, la evolución del consumo per cápita y el tipo de fuente utilizada ha ido cambiando de acuerdo a disponibilidad y costos, sin considerar el aspecto medio ambiental.

a) La era del Petróleo: A partir de la II Guerra Mundial, el consumo del petróleo como combustible, se impuso, principalmente debido a que se perfeccionaron los métodos de perforación, se hizo más fácil su extracción y sus características peculiares ayudaron a su rápida difusión sin mayores contratiempos. Comparando con el

carbón, tiene mayor densidad energética, es más fácil de transportar y deja menos residuo en su combustión. Los bajos precios del petróleo durante esa época permitieron un consumo irreflexivo y en consecuencia extendió por doquier el fenómeno de la contaminación ambiental.(Polo y Torres, 2009)

b) La crisis de la energía: En el año 1973 se produjo el primer embargo petrolero de los países de la OPEP, que elevó el precio del barril de petróleo de 2 a 13 dólares, esto dio origen a la llamada crisis de la energía, y fue seguida por otro en 1980 que elevó el precio a 23 dólares por barril, desde entonces, el precio del petróleo ha sido inestable. Se ocasionó un retroceso en el crecimiento económico mundial y una creciente toma de conciencia sobre el problema energético, que despertó el interés en diversificar las fuentes de energía y, en disminuir el consumo de energía. Las técnicas encaminadas al aprovechamiento eficaz en la energía han logrado avances muy significativos en los países industrializados, desacelerando, e incluso reduciendo su consumo de energía. La preocupación de la gran mayoría pobre es buscar la forma de poder subvencionar su energía para poder cocinar,

abastecerse de agua y demás actividades esenciales relacionadas con la subsistencia, al margen de su eficiencia. Las políticas de subvención de los precios de los combustibles, como medio de mantener el crecimiento económico, lejos de contribuir al incremento de la eficiencia energética, fomentaron el despilfarro.

c) El sistema energético mundial actual: Con la finalidad de entender el papel que las energías renovables, y en especial la energía solar puedan llegar a jugar en el panorama energético, es importante resaltar las características del sistema energético actual: Según IRENA, 2012 está fundamentado en el consumo de combustibles fósiles que, por su propia naturaleza, son agotables. En términos de energía primaria, el conjunto de estos combustibles: petróleo, carbón y gas natural, representa el 78% del total; aproximadamente 1/3 de la energía primaria se destina a la producción de electricidad, lo que equivale a 35 millones de barriles de petróleo equivalentes por día. El 40% de la electricidad proviene del carbón, mientras que el petróleo y la energía nuclear sólo cubren entre un 12 a un 15% cada una. En términos de energía consumida, la electricidad representa el 12% del total y su destino

es, por igual, el sector industrial y el residencial.

El consumo de energía primaria muestra profundos desequilibrios entre unos países y otros, la cuarta parte de la población mundial consume las tres cuartas partes del total de la energía primaria en el mundo. En el caso de la electricidad esta desigualdad es aún más significativa.

El incremento del precio del barril de petróleo y el posible agotamiento de este recurso no renovable, la fuerte emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂, CO, CH₄, entre otros, y su acumulación en la atmósfera, responsables del cambio climático globalizados; en las últimas décadas, ha obligado a la sociedad a buscar fuentes de energías limpias, renovables y de contaminación mínima, con lo cual la matriz energética mundial actualmente está cambiando. Los países pobres exhiben grandes carencias de electrificación, sobre todo en las zonas rurales, las cuales están caracterizadas por un hábitat muy disperso, sin embargo en su mayoría cuentan con recursos energéticos renovables locales, como la solar, hidráulica a pequeña y mediana escala, geotérmica,

eólica, y biomasa, que no son aprovechadas debido a muchos factores, entre ellos, por la falta de conocimiento del potencial, y a la falta de una política regional de apoyo al uso de las energías renovables, teniendo como consecuencia una acelerada contaminación ambiental y un desmesurado consumo de las reservas fósiles.

Cuadro 5

Consumo mundial de energía en mil millones de GJ de las actuales fuentes energéticas, proyectado a un escenario del 2030

FUENTES DE ENERGÍA	1950	1970	1980	1990	1992	2030
Carbón	38,10	57,15	78,55	103,75	104,92	253,22
Petróleo crudo	17,58	69,17	107,27	149,76	151,23	166,03
Gas Natural	7,03	30,48	49,82	54,51	52,47	126,61
Energía Nuclear	-	1,17	8,21	28,72	31,95	32,24
Energía Renovable	7,62	3,32	8,20	14,37	14,64	192,70
Total	70,33	161,1	152,05	351,11	355,21	770,80

Fuente: EREC (2008)

En el cuadro 5 se muestra la evolución del consumo de energía a nivel global por cada fuente energética proyectada a un escenario del 2030, y en la figura 10 se muestra el consumo de potencia per cápita por tipo de energía primaria a un escenario del 2050,

observándose una disminución apreciable del consumo de energías tradicionales como el petróleo, carbón y gas, y significativo aumento de las energías renovables, en conjunto el consumo de energía primaria baja hacia el 2050, debido a una política de uso racional y eficiente de la energía.

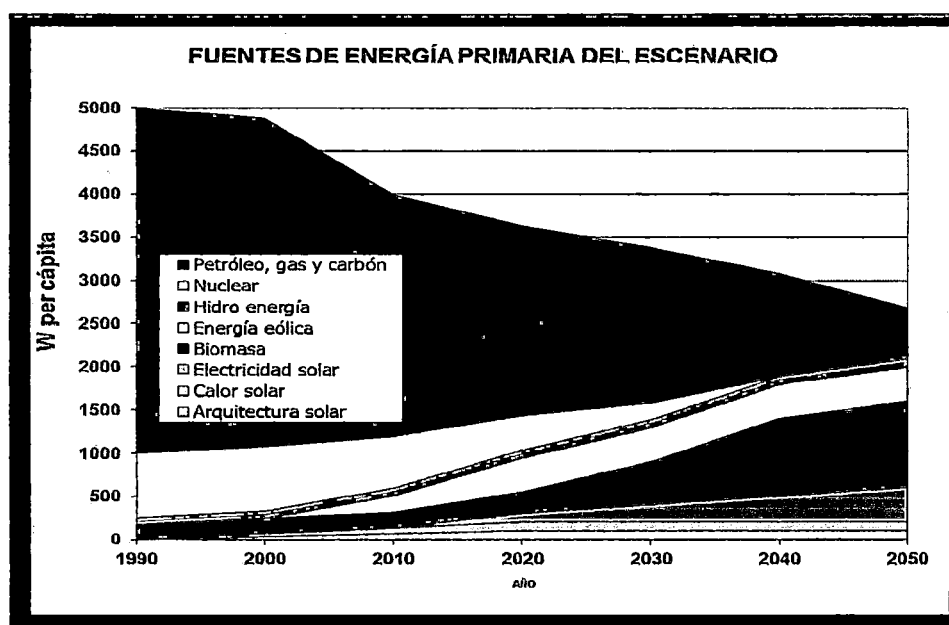


Figura 10: Tendencias del consumo de energías primarias fósiles y renovables en un escenario al año 2050

Fuente: EREC (2008)

El sistema energético actual está fuertemente basado en los combustibles fósiles. El ritmo de consumo es tal que en un año la

humanidad consume lo que la naturaleza tarda un millón de años en producir, por lo que el posible agotamiento de las reservas existentes es una realidad que no admite discusión.

Como quiera que sea, no deja de ser cierto que la posibilidad de agotamiento del petróleo y del gas natural puede ser una realidad estructural en el plazo de una o dos generaciones, insostenible porque está agotando las reservas de combustible, contribuye al efecto invernadero, a la acidificación del ciclo del agua, a la deforestación, y origina riesgos para la paz mundial, y es responsable de la emisión de gases de efecto invernadero que ha originado el cambio climático.

2.2.2 Gases de efecto invernadero

a) Vapor de agua (H₂O)

El vapor de agua es un gas que se obtiene por evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo, es el que más contribuye al efecto invernadero debido a la absorción de los rayos infrarrojos, es inodoro e incoloro. (Comunidad Europea, 2006)

b) Dióxido de carbono (CO₂)

Oxido de carbono, también se denomina dióxido de carbono, gas carbónico y anhídrido carbónico.. La principal fuente de emisión de CO₂ a la atmósfera es la quema de combustibles fósiles y biomasa, en procesos industriales, transporte, y actividades domiciliarias (cocina y calefacción). Los incendios forestales y de pastizales constituyen también una fuente importante de CO₂ atmosférico. La concentración del CO₂ atmosférico subió desde 280 ppm en el periodo 1000 - 1750, a 368 ppm en el año 2000, lo que representa un incremento porcentual de 31%. Se estima que la concentración actual es mayor de la ocurrido durante cualquier periodo en los últimos 420 000 años, y es muy probable que también sea el máximo de los últimos 20 millones de años.

Eventualmente todo el carbono transferido desde la atmósfera a la biosfera es devuelto a ella en la forma de CO₂ que se libera en procesos de descomposición de la materia vegetal muerta o en la combustión asociada a incendios de origen natural o antrópico. Ver figura 11.

c) Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre es uno de los gases comunmente liberados durante erupciones volcánicas, y la combustión del carbón y el petróleo, y es preocupante a escala global, debido a su potencial de influencia en el clima. A escala global SO₂ es peligroso para los humanos en su forma gaseosa y también porque se oxida formando sulfato aerosol, y es responsable de la lluvia ácida.

d) Metano (CH₄)

El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, conocida como la sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es, incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Constituye hasta el 97% del gas natural. El metano, es un gas de efecto invernadero relativamente potente, que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que tiene un potencial de calentamiento global de 23, pero que su concentración es bajísima.

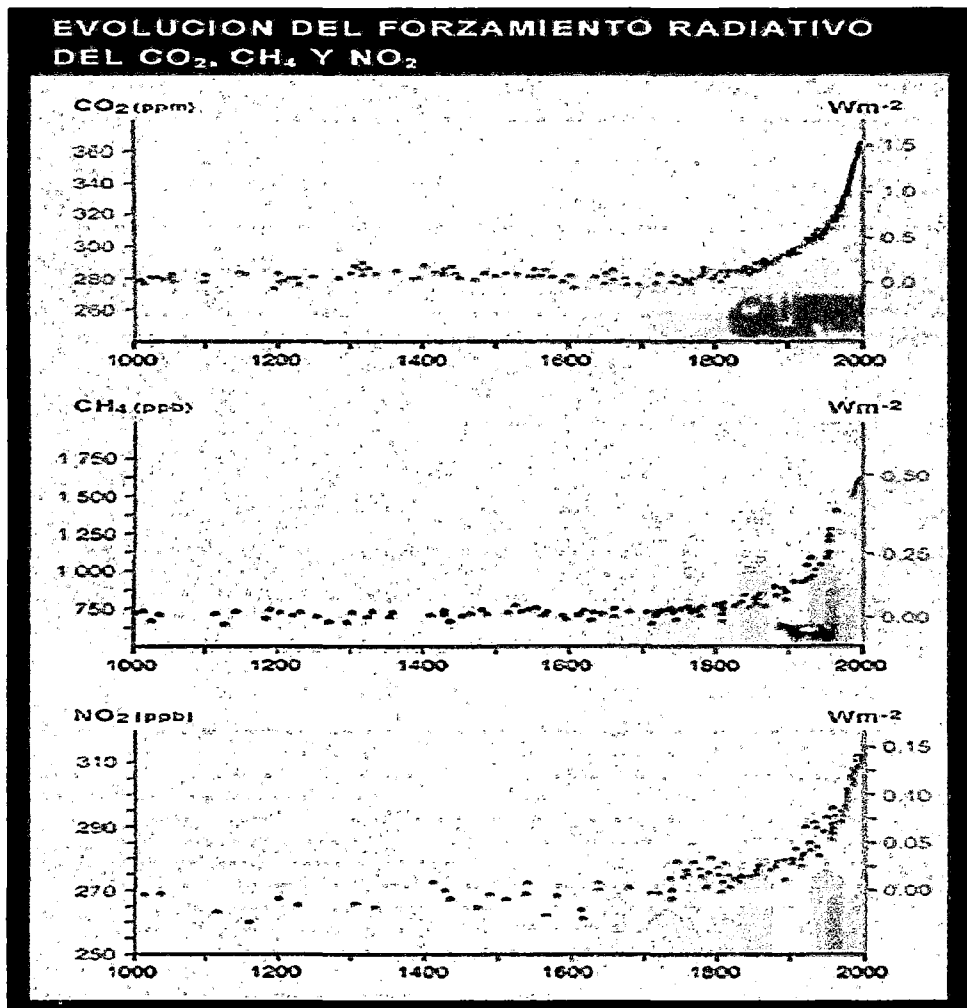


Figura 11: Evolución de las concentraciones de CO₂, CH₄; y NO₂ en la atmosfera terrestre entre los años 1000 al 2000

Fuente: Informe OMM, WMO, PENUE, UNEP (IPCC 2002)

Esto significa que en una media de tiempo de 100 años cada Kg de CH₄ calienta la Tierra 23 veces más que la misma masa de CO₂; sin embargo, hay aproximadamente 220 veces más dióxido de

carbono en la atmósfera de la Tierra que metano por lo que este contribuye de manera menos importante al efecto invernadero. La principal fuente natural de producción de CH_4 son los pantanos, represas, lagos, se produce también en la descomposición anaeróbica de la basura en los rellenos sanitarios; en el cultivo de arroz, en la descomposición de fecas de animales; en la producción y distribución de gas y combustibles; y en la combustión incompleta de combustibles fósiles. Se estima que su concentración aumentó entre 700 ppb en el periodo 1000 - 1750 y 1750 ppb en el año 2000, con un aumento porcentual del 151 %. Ver figura 11.

e) Oxidos de nitrógeno (N_xO)

El proceso de formación más habitual de estos compuestos inorgánicos es la combustión a altas temperaturas, proceso en el cual habitualmente el aire es el comburente. El aumento del N_xO en la atmósfera se deriva parcialmente del uso creciente de fertilizantes nitrogenados. El atmosférico creció entre 270 ppb en el periodo 1000 - 1750, a 316 ppb en el año 2000. Ver figura 10. El N_xO también aparece como sub-producto de la quema de combustibles fósiles y

biomasa, y asociado a diversas actividades industriales (producción de nylon, producción de ácido nítrico y emisiones vehiculares).

f) Ozono (O₃) troposférico y estratosférico

El ozono troposférico se genera en procesos naturales y en reacciones fotoquímicas que involucran gases derivados de la actividad humana. Su incremento se estima en un 35% entre el año 1750 y el 2 000. El ozono estratosférico es de origen natural y tiene su máxima concentración entre 20 y 25 km de altura sobre el nivel del mar. En ese nivel cumple un importante rol al absorber gran parte de la componente ultravioleta de la radiación solar. Se ha determinado que compuestos gaseosos artificiales que contienen cloro o bromo han contribuido a disminuir la concentración del ozono en esta capa, particularmente alrededor del Polo Sur, durante la primavera del Hemisferio Sur, y en latitudes medias (altiplano).

g) Clorofluorocarbonos

El clorofluorocarbono o clorofluorocarbonados, denominados también CFC, debido a su alta estabilidad fisicoquímica y su nula toxicidad, han sido muy usados como líquidos refrigerantes, agentes extintores y propelentes para aerosoles. Estos gases, han

experimentado un significativo aumento de su concentración en la atmósfera durante los últimos 50 años. Como resultado de la larga vida media de la mayoría de ellos, las emisiones que se han producido en los últimos 20 ó 30 años continuarán teniendo un impacto por mucho tiempo.

En el Protocolo de Kyoto, se indica seis gases a reducir y cada uno de ellos tiene un potencial tal como se indica en el siguiente cuadro:

Cuadro 6
Potencial de los gases de efecto invernadero

GASES DE EFECTO INVERNADERO	EQUIVALENCIA EN CO₂ DE UNA MEDIDA DE GAS (CO_{2e})	CONTRIBUCIÓN REAL (%) EN LA ATMÓSFERA
Dióxido de carbono (CO₂)	1	76
Metano (CH₄)	21	13
Oxidos Nitrosos (N_xO)	310	6
HidroFluoroCarbono (HFC)	740	2
PerFluoroCarbono (PFC)	1 300	2.5
Hexafluoruro de azufre (SFG)	23 900	0,5

Fuente: OMM, WMO, PNUE, UNEP, IPCC (2007)

2.2.3 El efecto invernadero

Dejando el contenido en vapor de agua que varía de forma muy amplia, la atmósfera está constituida en más de un 99,9 % por

gases en proporción, el 78 % es nitrógeno; el 21 % es oxígeno y el 1 % Argón, y se ha mantenido constante desde mucho antes de la aparición del hombre sobre la tierra. Además, existen en ellas unos gases, denominados "traza" que, a pesar de su escasa proporción, juegan un papel determinante en muchos de los procesos esenciales para la vida.

Uno de estos procesos es el denominado "efecto invernadero", o capacidad de la atmósfera para retener calor. La tierra irradia energía a longitudes de onda correspondiente a un cuerpo a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Afortunadamente, la temperatura media en su superficie es $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ más alta, gracias a la existencia de gases que, por ser relativamente transparentes a la radiación solar y opacos a la radiación infrarroja emitida por la tierra, almacenan el calor entre la superficie de esta y el nivel medio de la atmósfera, entre estos gases, el dióxido de carbono, CO_2 , juega un papel primordial.

La temperatura media en la Tierra se mantiene prácticamente constante en unos $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero se calcula que si no existiera la atmósfera, sería de unos $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta diferencia de $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ tan beneficiosa para la vida en el planeta se debe al efecto invernadero.

El motivo por el que la temperatura se mantiene constante es porque la Tierra devuelve al espacio la misma cantidad de energía que recibe. Si la energía devuelta fuera algo menor que la recibida se calentaría paulatinamente, y si devolviera más de lo que recibe, se iría enfriando.

La Comunidad Europea (2006) indica que la explicación del efecto invernadero no está en que parte de la energía recibida por la Tierra se quede definitivamente en el planeta. La explicación está en que se retrasa su devolución porque, aunque la cantidad de energía retornada es igual a la recibida, el tipo de energía que se retorna es distinto. Mientras que la energía recibida es una mezcla de radiación ultravioleta, visible e infrarroja, la energía que devuelve la Tierra es fundamentalmente infrarroja y algo de visible.

Las radiaciones que llegan del sol vienen de un cuerpo que está a 6000 °C, pero las radiaciones que la superficie devuelve tienen la composición de longitudes de onda correspondientes a un cuerpo negro que esté a 15 °C, por este motivo las radiaciones reflejadas tienen longitudes de onda de menor frecuencia que las recibidas.

Están en la zona del infrarrojo y casi todas son absorbida por el CO₂, el vapor de agua, el metano y otros gases, por lo que se forma el efecto invernadero. Así se retrasa la salida de la energía desde la Tierra al espacio y se origina el llamado efecto invernadero que mantiene la temperatura media en unos 15 °C y no en los -18°C que tendría si no existiera la atmósfera.

La quema de combustibles fósiles en general y el carbón de forma particular, se traduce, inevitablemente, en emisiones de CO₂ a la atmósfera, debido a este efecto y, en menor medida a la deforestación, la concentración de CO₂ ha aumentado desde unas 280 partes por millón a comienzos del siglo hasta 340 en 1980 y más de 350 en la actualidad y, de continuar el actual consumo de combustibles fósiles, se teme que se duplique a mediados del próximo siglo. Son cada vez más, los científicos que consideran, que los efectos que tendrían tal aumento de concentración, se manifestaría en un cambio climático, en el sentido de un calentamiento global, a una velocidad que no tendría precedentes en la historia de la Tierra, actualmente sus efectos se hacen sentir en muchos lugares del planeta.

No todos los componentes de la atmósfera contribuyen al efecto invernadero. Los gases de invernadero absorben los fotones infrarrojos emitidos por la superficie terrestre calentada por el sol. La energía de esos fotones no basta para causar reacciones químicas para romper enlaces covalentes sino que simplemente aumenta la energía de rotación y de vibración de las moléculas implicadas. El exceso de energía es a continuación transferido a otras moléculas, por las colisiones moleculares, en forma de energía cinética, es decir, de calor; aumentando la temperatura del aire.

De la misma forma, la atmósfera se enfría emitiendo energía infrarroja cuando se producen las correspondientes transiciones de estado vibracional y rotacional en las moléculas hacia niveles menores de energía. Todas esas transiciones requieren cambios en el momento dipolar de las moléculas lo que deja fuera de este papel a los dos gases principales en la composición del aire, nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), cuyas moléculas, por estar formadas por dos átomos iguales, carecen de cualquier momento dipolar.

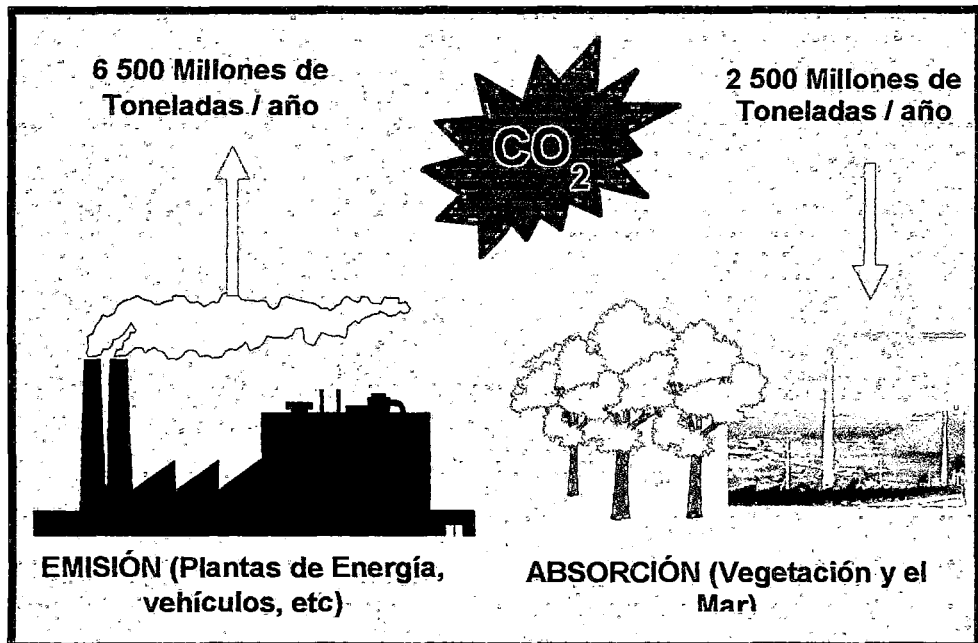


Figura 12: Desbalance mundial entre la emisión y absorción del dióxido de carbono, que está incrementando el efecto invernadero
Fuente: Comunidad Europea (2006)

Si bien todos ellos salvo los compuestos del flúor son naturales, en tanto que existen en la atmósfera desde antes de la aparición de los seres humanos, a partir de la revolución industrial de mediados del siglo XIX, y debido principalmente al uso intensivo de combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se han producido sensibles incrementos en las cantidades de óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono emitidas a la atmósfera. Se estima que también el metano está aumentando su presencia por razones

antropogénicas. Además, a este incremento de emisiones se suman otros problemas, como la deforestación, que han reducido la cantidad de dióxido de carbono retenida en materia orgánica, contribuyendo así indirectamente al aumento antropogénico del efecto invernadero.

Asimismo, el excesivo dióxido de carbono está acidificando los océanos y reduciendo el fitoplancton. En la figura 12 se muestra las fuentes de emisión del CO₂, así como los sistemas que lo absorben, determinándose un desbalance de 4 000 millones de toneladas de CO₂ el cual se ha acumulado en la atmósfera, produciendo el calentamiento global el cual es causante del llamado cambio climático.

Tal calentamiento, que para muchos ya ha empezado a manifestarse, tendría consecuencias desastrosas para la humanidad. La amenaza que representa este fenómeno, está creando una alerta creciente en la opinión pública y motivando a los gobiernos a tomar medidas para la reducción de las emisiones de CO₂ y mitigación del Cambio Climático, no obstante ello enfrenta dos tipos de problemas. Por un lado, el elevado costo de reducir tales emisiones, y por otro, la distinta posición de los países

pobres y ricos a este respecto. Los primeros desean ver aumentar su nivel de desarrollo, para lo que precisan incrementar un consumo energético y, con ello, sus emisiones de CO₂. Los segundos intentan limitar tales emisiones recurriendo a mejorar la eficiencia energética.

2.2.4 Definición de cambio climático

Para el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), el término "cambio climático" denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), que describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que

viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables. En la figura 13 se muestra la cadena de escenarios del cambio climático.

Según el informe de (OMM, WMO, PNUE, UNEP; 2008) las observaciones obtenidas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos evidencian que muchos sistemas naturales están siendo afectados por los cambios climáticos regionales y, particularmente, por el aumento de la temperatura. Puede afirmarse con un grado de confianza alto que los sistemas naturales vinculados a la nieve, el hielo y el terreno congelado (incluido el permafrost) han resultado afectados; algunos ejemplos: ha aumentado el número y extensión de los lagos glaciales, ha aumentado la inestabilidad del terreno en las regiones de permafrost y las avalanchas de rocas en regiones montañosas, ha habido cambios en algunos ecosistemas árticos y antárticos, particularmente en los biomasa de hielo marino, y un ascenso de los predadores en la trama alimentaria.

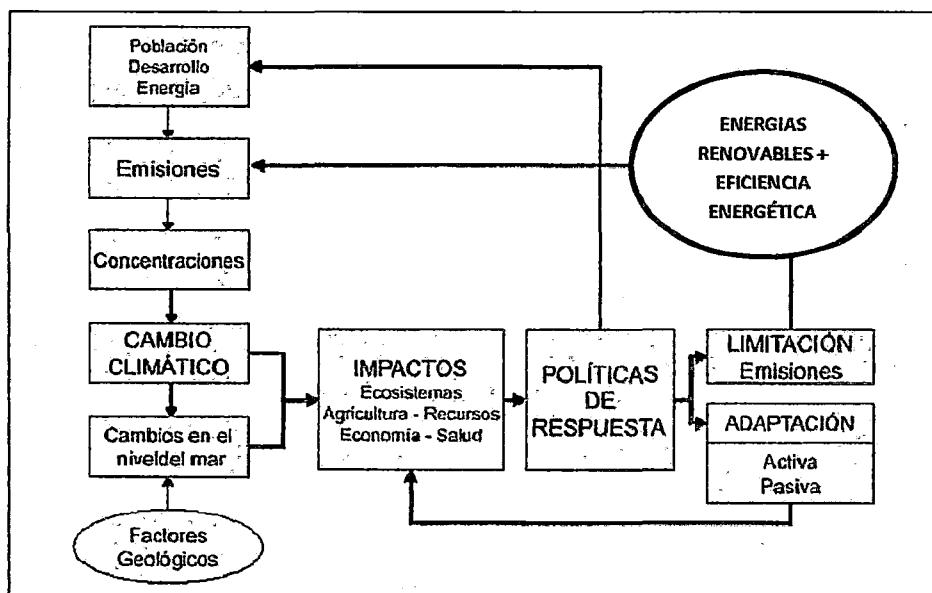


Figura 13: Diagrama de la cadena de escenarios del cambio climático y su mitigación

Fuente: Elaboración propia (2012)

Las causas del cambio climático son básicamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tales como el CO_2 , N_xO , y el CH_4 , almacenados en la atmósfera terrestre, y causadas por actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004. Los GEI difieren en la influencia térmica positiva (forzamiento radiativo) que ejercen sobre el sistema climático mundial, debido a sus diferentes propiedades radiativas y períodos de permanencia en la atmósfera.

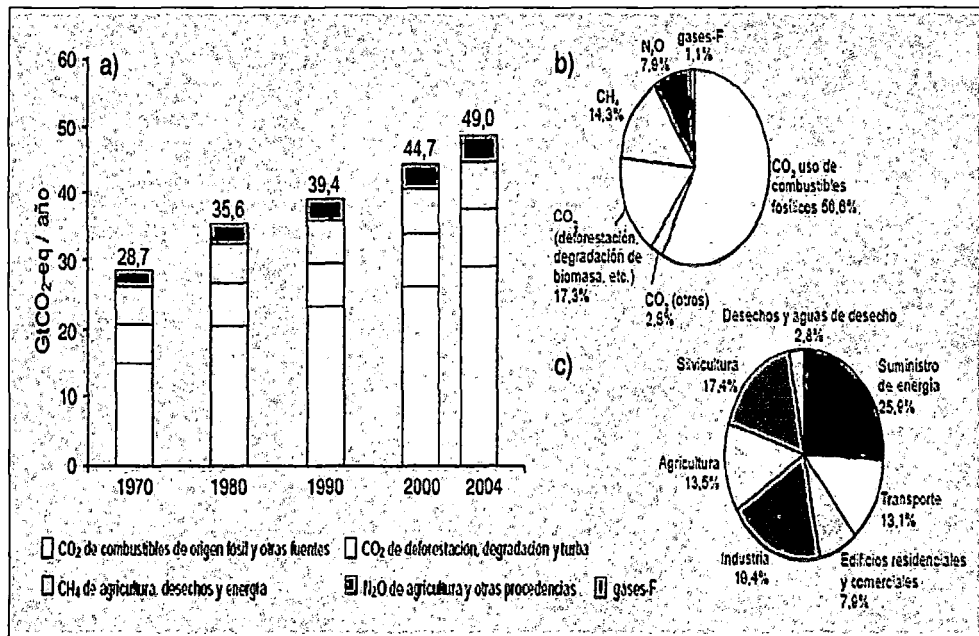


Figura 14:

a) Emisiones mundiales anuales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004 b) Parte proporcional de diferentes GEI antropógenos en las emisiones totales en el año 2004, en términos de CO₂-eq. c) Parte proporcional de diversos sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO₂-eq

Fuente: .OMM, WMO, PNUE, UNEP (2005)

Las concentraciones de CO₂, N_xO, y el CH₄ en la atmósfera mundial han aumentado considerablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y en la actualidad exceden con mucho de los valores preindustriales determinados mediante el

análisis de núcleos de hielo acumulados durante miles de años, en 2005, las concentraciones de CO₂ y CH₄ en la atmósfera excedieron considerablemente del intervalo de valores naturales de los últimos 650 000 años.

El aumento observado del promedio mundial de las temperaturas, desde mediados del siglo XX, se debe en su mayor parte, muy probablemente, al aumento observado de las concentraciones de GEI antropogénicos.

El calentamiento antropógeno de los tres últimos decenios ha ejercido probablemente una influencia discernible a escala mundial sobre los cambios observados en numerosos sistemas físicos y biológicos.

2.2.5 Consecuencias del cambio climático

- a) Sobre los ecosistemas:** Asociadas a perturbaciones como, inundaciones, sequías, incendios incontrolados, insectos, acidificación del océano, y otros originantes del cambio mundial

como por ejemplo, cambio de uso de la tierra, polución, fragmentación de los sistemas naturales, sobre explotación de recursos.(Watson y otros, 1996)

- b) **Sobre la producción de alimentos:** La productividad de los cultivos aumentará ligeramente en latitudes medias a altas para aumentos de la temperatura media de hasta 1 a 3 °C en función del tipo de cultivo, para luego disminuir por debajo de ese nivel en algunas regiones,
- c) **Sobre las costas:** Las costas estarían expuestas a mayores riesgos, y en particular a la erosión, por efecto del cambio climático y del aumento de nivel del mar.
- d) **Sobre la industria, asentamientos y sociedad:** industrias, asentamientos y sociedades más vulnerables son, en términos generales, las situadas en llanuras costeras y planicies propensas a las crecidas fluviales, así como aquellas cuya economía está estrechamente vinculada a recursos sensibles al clima, y otras ubicadas en áreas propensas a fenómenos meteorológicos extremos, especialmente allí donde los procesos de urbanización

son rápidos, las comunidades pobres podrían ser especialmente vulnerables, en particular las que se concentran en áreas de alto riesgo.

- e) **Sobre la salud:** La situación sanitaria de millones de personas resultaría afectada, ya que agravaría la malnutrición y el número de defunciones, enfermedades y lesiones causadas por fenómenos meteorológicos extremos; aumentaría la carga de enfermedades diarreicas; crecería la frecuencia de males cardiorrespiratorios debido al aumento de las concentraciones del ozono en niveles bajos de áreas urbanas; y se alteraría la distribución espacial de ciertas enfermedades infecciosas

- f) **Sobre el agua:** Se intensificará el estrés actualmente padecido por los recursos hídricos, debido al crecimiento de la población y al cambio económico y de los usos de la tierra y, en particular, a la urbanización, a escala regional, los bancos de nieve de montaña, los glaciares y los pequeños casquetes de hielo desempeñan un papel crucial con respecto a la disponibilidad de agua dulce, las pérdidas de masa generalizadas de los glaciares y las reducciones de la cubierta de nieve de los últimos decenios se acelerarían durante el

presente siglo, reduciendo así la disponibilidad de agua y el potencial hidroeléctrico, y alterando la estacionalidad de los flujos en regiones abastecidas de agua de nieve de las principales cordilleras

2.2.6 Acciones para mitigar el cambio climático

Ante la evidencia del CC, muchos países e instituciones internacionales y multilaterales, han iniciado una serie de medidas tendientes a mitigar este fenómeno; destaca el acuerdo internacional conocido como el Protocolo de Kyoto adoptado en diciembre de 1997 en la Tercera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), refleja los acuerdos alcanzados en el complejo proceso de establecer una respuesta a este desafío ambiental y adquiere importancia en el hecho que establece límites a las emisiones de GEI de los países industrializados. (Watson y otros, 1996; OMM, WMO, PNUE, UNEP, 2008).

El Protocolo introdujo asimismo tres nuevos mecanismos internacionales denominados "mecanismos de flexibilidad" o

"mecanismos de Kyoto", denominados a) el comercio internacional de los derechos de emisión de GEI o Bonos de Carbono con efectos a partir de 2008, conocido también como Transacción de Emisiones, y b) el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), y c) la Implementación Conjunta (IC) que son componentes básicos sin los cuales el Protocolo difícilmente podría entrar en vigor.

a) Bonos de Carbono o Comercio Internacional de emisión de GEI

Los bonos de carbono, también llamados "Créditos de Carbono" son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; Un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono, el cual permite disminuir la generación de gases invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido.

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO₂ equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas

(CER). Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países industrializados. Los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación son, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, reforestación, limpieza de lagos y ríos, etc. Los CERs se generan en la etapa de ejecución del proyecto; y se extienden una vez acreditada dicha reducción.

b) Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL): A través de este mecanismo se establece que los países industrializados pueden financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo y recibir créditos por ello. El propósito del MDL es ayudar a las Partes no incluidas e incluidas a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a los incluidos a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de emisiones.

Los Proyectos que califican en el MDL son los de gran escala: Industrias de energía de fuentes renovables y no renovables,

distribución de energía, demanda de energía, industrias de manufactura, industrias químicas, construcción, transporte, producción mineral, minería, etc., sobre todo entatiza proyectos con energías renovables, de mejoras en la eficiencia energética, la coogeneración, entre otros aspectos.

La eficiencia energética es el consumo inteligente de la energía, las fuentes de energía son finitas, y por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad del presente para que podamos disfrutar de ellas en un futuro, toda vez que es imprescindible reducir la dependencia de nuestra economía del petróleo y los combustibles fósiles, considerando su relación con el cambio climático global.

La coogeneración de energía, es una técnica en la que se aprovecha el calor residual de diferentes procesos industriales. Incentiva el uso masivo de las energías renovables por sus grandes ventajas ambientales y socio económicas, por su diversidad de aplicaciones térmicas y eléctricas, son la mejor alternativa para contribuir al uso racional y eficiente de la energía, y para mitigar el cambio climático, actualmente existe un desarrollo tecnológico maduro de muchas de estas, como la solar para obtener calor y

energía eléctrica, la eólica para generación de energía a gran escala con los aerogeneradores, la hidráulica para generar energía eléctrica con grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas, la biomasa para la obtención de biocombustibles, pero es fundamental conocer el potencial energético de cada una de estas en una determinada zona geográfica, formar recursos humanos de profesionales y técnicos, difundir sus ventajas, y que a nivel de los países existan normas que incentiven sus aplicaciones y regulen sus usos. (OMM, WMO, PNUE, UNEP, 2008; Gamio y García, 2011)

2.3 Evaluación del impacto ambiental

2.3.1 Evaluación de impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es un instrumento para valorar los efectos de determinadas actividades humanas, acciones o proyectos sobre el medio ambiente. Son estudios que recaban la información de la que se pueda deducir la capacidad de generar alteraciones por parte de la actividad o proyecto, así como de conocer cuál es la capacidad de acogida del medio sobre el que

se pretende actuar, para poder establecer una respuesta adecuada. Esta respuesta puede ser negativa a la realización de la actividad o proyecto e incluir las medidas protectoras correctoras que minimicen las alteraciones previstas a niveles aceptables, y un programa de vigilancia ambiental que garantice su cumplimiento (Torres M. 2010)

El proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento jurídico-administrativo que permite a la administración competente en materia medioambiental realizar la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) sobre el proyecto, obra o actividad que se quiera ejecutar. La EIA se realiza en varias etapas que se pueden sintetizar de la manera siguiente:

- Descripción de los recursos naturales.
- Valoración de los recursos naturales.
- Determinación de los impactos ambientales que causa las actividades humanas sobre los recursos naturales.
- Valoración de los efectos de los impactos ambientales.
- Propuesta de medidas correctoras para minimizar los efectos de los impactos ambientales.

Incluido dentro del proceso de EIA se encuentra un elemento que es el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA); es importante no confundir ambos conceptos y tener en cuenta que el EsIA es un elemento parcial de la EIA. El EsIA es el documento técnico que debe presentar el titular del proyecto. Basándose en este documento, se produce la Declaración de Impacto Ambiental. El efecto que puede tener una actividad o proyecto se va a reflejar en las dos áreas del medio ambiente: el medio ambiente natural y el medio ambiente social. Como veremos más adelante, algunos autores proponen tres áreas o subsistemas: el medio físico, el subsistema económico y el subsistema de núcleos e infraestructuras. En una EIA, y dentro de cada una de estas dos áreas, habrá que considerar los aspectos siguientes

Medio natural o medio físico

Este medio a su vez está subdividido en los componentes siguientes:

- ✓ **Medio inerte o abiótico:** Que comprende factores ambientales como la contaminación atmosférica, contaminación del agua (continental, marina, subterránea, superficial),

utilización racional y eficiente de recursos renovables y no renovables, contaminación por residuos sólidos, contaminación acústica, contaminación de suelos (erosión, desertización, etc.).

✓ **Medio biótico:** Que comprende factores ambientales como especies amenazadas o en peligro de extinción, ecosistemas especiales, cadenas tróficas y reproductivas, praderas, pastizales, cultivos, rutas de paso o migratorias, etc.

✓ **Medio perceptual:** Que incluye factores ambientales como por ejemplo, degradación de las unidades de paisaje (valles, vistas, cordilleras, cuencas), incidencia visual, componentes singulares naturales y artificiales.

Medio social

En este caso se pueden considerar los siguientes factores ambientales: Demografía, condiciones histórico-culturales, movimientos migratorios, estructura de la propiedad, renta per cápita, actividades económicas, estructura y condiciones sociales, legislación, educación ambiental, grado de concienciación ciudadana, patrimonio cultural, histórico y artístico.

2.3.2 Elementos adyacentes a la evaluación de impacto ambiental

Son los elementos del medio ambiente que necesitamos precisar y contemplar en el proceso de evaluación, en tal sentido es importante ampliar algunos conceptos básicos y desarrollar otros que no se han visto anteriormente en este trabajo, entre ellos se han considerado los siguientes (Conesa, 1997):

El medio ambiente o ambiente (MA)

Es el entorno vital, o sea el conjunto de factores físico-naturales, estéticos, culturales, sociales y económicos que interaccionan entre sí, con el individuo y con la comunidad en que vive, determinando su forma, carácter, comportamiento y supervivencia.

El concepto de medio ambiente implica directa e íntimamente al hombre, ya que no sólo se refiere a aquello que rodea al hombre en el ámbito espacial, sino que además incluye el factor tiempo, es decir, el uso que de ese espacio hace la humanidad referido a la herencia cultural e histórica. Si tenemos en cuenta la influencia del hombre, podemos entender el medio ambiente en base a tres subsistemas: como receptor de efluentes y de residuos, como fuente

de recursos naturales y como soporte de actividades. A continuación se describe cada uno de estos subsistemas:

Como receptor de efluentes (emisiones, vertidos y residuos no deseados), se tendrá en cuenta la capacidad de asimilación del medio ambiente (capacidad de dispersión atmosférica, de autodepuración del agua, de filtrado del suelo, etc.), de modo que la emisión de efluentes de una actividad deberá realizarse siempre por debajo de la capacidad de asimilación del medio ambiente.

Como capacidad de asimilación del medio se entiende la que tiene el entorno de procesar los efluentes que a él se incorporan, transformándolos en elementos no perjudiciales o aceptables para éste; por ejemplo, capacidad de autodepuración del agua, de filtrado del suelo, de dispersión atmosférica, de degradación por varios medios, etc.

Como fuente de recursos, el medio ambiente es el que abastece al hombre de las materias primas y energía que necesita para su desarrollo sobre la Tierra. Por otra parte, no todos los recursos son renovables. De hecho, sólo una parte de estos recursos son renovables, por lo que no se puede considerar al planeta como una fuente ilimitada de recursos. Los recursos naturales renovables

deberían utilizarse por debajo de su tasa de renovación, es decir, siguiendo un ritmo asimilable por el medio ambiente. Los recursos naturales no renovables pueden ser consumibles por el hombre (petróleo, minerales, etc.) y deben utilizarse a un ritmo de consumo asumible por el medio ambiente. No consumibles por el hombre (patrimonio artístico, paisaje, etc.), deben gestionarse con una intensidad de uso asumible y coherente. Se establecerá como intensidad de uso umbral aquella por encima de la cual el recurso empieza a perder su calidad ambiental. Como soporte de actividades, el medio ambiente presenta una mayor o menor capacidad de acogida para cada actividad que se desarrolla en su seno.

Como capacidad de acogida se entiende la aptitud que presenta un territorio para acoger en él una determinada actuación o actividad. Cada territorio, ecosistema o sistema socio-cultural, presenta una capacidad de acogida determinada para un número de actividades; por lo tanto, sobre estos territorios sólo deberían desarrollarse actividades que vayan a ser bien acogidas en ese territorio. Del mismo modo, tendrán que rechazarse aquellas

actividades para las cuales el territorio no tenga una buena capacidad de acogida.

Desarrollo sostenible

Se ha definido el desarrollo sostenible como aquél que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones. Para alcanzarlo, es necesario que el ahorro en el consumo energético y de materias primas de los procesos productivos sea superior al crecimiento de dicha producción (IPCC, 2008).

Es un proceso de mejoramiento equitativo de la calidad de vida de las personas mediante el cual se procura el crecimiento económico social en una relación armónica con la protección del medio ambiente, de modo tal que se satisfagan las necesidades de las generaciones actuales y de las futuras. El desarrollo sostenible presenta las siguientes características principales:

- ❖ Mantiene la calidad de vida.
- ❖ Permite el acceso continuo a los recursos naturales.

- ❖ Impide que los daños al medio ambiente perduren.

Los empresarios, fabricantes y ciudadanos en general, están empezando a convencerse de que la eco responsabilidad puede resultar rentable; quizás no lo sea siempre, a corto plazo, pero seguro que compensa si se quiere asegurar la supervivencia de una actividad, explotación, proceso productivo, etc. El problema radica en que en la sociedad, esperan demasiadas veces a llegar a una situación que roza la insostenibilidad para que se produzca una reacción y se empiecen a tomar medidas correctivas para revertir la situación de insostenibilidad.

Factores ambientales

Como factores o parámetros ambientales se engloban los diversos componentes del medio ambiente entre los cuales se desarrolla la vida en la tierra. Estos factores son el soporte de toda actividad humana.

El hombre es capaz de modificarlos de forma radical, pudiendo ocasionar, a medio o largo plazo, graves problemas de difícil valoración, o pequeños cambios fácilmente soportables. Los factores ambientales que consideran los organismos competentes de la Unión Europea (UE) pertenecen a los siguientes componentes ambientales:

- ❖ El aire, el clima, el agua y el suelo.
- ❖ El hombre, la flora y la fauna.
- ❖ El paisaje.
- ❖ Las interacciones entre los anteriores.
- ❖ Los bienes materiales, la calidad de vida y el patrimonio cultural.

En la práctica, para cada proyecto de EIA, el medio se caracterizará utilizando los factores ambientales que más claramente definan el impacto ambiental.

En los cuadros 7, 8 y 9 se detalla una posible identificación de los factores ambientales basada en la clasificación propuesta por Orea (1994), uno de los autores más relevantes en el campo de las EIA.

Cuadro 7

Descripción de los factores ambientales en el subsistema de núcleos e infraestructuras

Componentes del subsistema de núcleos e infraestructuras	Componente Ambiental	Factor Ambiental
Infraestructuras y servicios	Infraestructura vial	Densidad de la red vial. Accesibilidad de la red vial. Riesgo de accidentes. Vías rurales.
	Infraestructura no vial	Infraestructura hidráulica. Saneamiento y depuración. Infraestructura energética. Infraestructura de telecomunicaciones
	Equipamientos	Servicios comerciales. Equipamientos docentes. Servicios oficiales. Transportes públicos. Vivienda. Equipamiento sanitario.
Estructura espacial de núcleos	Estructura horizontal	Modelo de distribución espacial. Índice de uniformidad.
	Estructura vertical	Jerarquía de los núcleos.
	Interacciones	Interacciones entre los núcleos.
Estructura urbana	Morfología	Trama y escenas urbanas. Disciplina urbanística.
	Planificación urbanística	Alteración de la planificación. Disciplina urbanística.

Fuente: Torres Muro (2010)

Cuadro 8

Descripción de los factores ambientales en el medio físico o medio natural

Componentes del subsistema Medio Físico	Componente Ambiental	Factor Ambiental
Medio Físico Inerte	Aire.	Nivel de CO, NO _x , SO _x , hidrocarburos Nivel de otros contaminantes. Ruido.
	Clima.	Temperaturas. Régimen pluviométrico, de vientos y de radiación. Índices de aptitud climática.
	Suelo.	Relieve y carácter topográfico. Recursos culturales. - Nivel de contaminantes en el suelo. Capacidad agrológica. Recursos minerales.
	Agua.	Cantidad y distribución del agua. Régimen hídrico. Parámetros físicos, químicos y biológicos.
	Procesos.	Dinámica de cauces, litoral y de acuíferos. Salinización. Transporte de sólidos. Eutrofización. Deposición: sedimentación, precipitación. Compactación. Estabilidad. Incendios.

Fuente: Torres Muro (2010)

Cuadro 9

Componentes del subsistema socio-económico, sus componentes y factores ambientales

Componentes del subsistema socioeconómico	Componente Ambiental	Factor Ambiental
Población	Dinámica poblacional	Movimientos migratorios/inmigratorios.
	Estructura poblacional	Empleo. Ocupación laboral por sector de actividad.
	Características culturales	Ocupación laboral según profesiones. Estilos de vida. Interacciones sociales. Aceptación social del proyecto. Estructura de la propiedad. Tradiciones.
	Densidad de población	Densidad de población.
Economía	Finanzas y sector público	Pago de indemnizaciones. Presión fiscal.
	Renta	Renta per cápita. Valor del suelo. Distribución de la renta.
	Actividades y relaciones económicas	Actividades económicas. Mercados.
Usos del suelo rústico	Recreativo al aire libre	Actividades cinegéticas. Baño. Acampada. Excursiones. Merenderos.
	Productivo	Suelo agrícola. Suelo forestal. Suelo ganadero. Uso industrial. Minería.
	Conservación de la naturaleza	Espacios o áreas protegidos.

Fuente: Torres Muro (2010)

Esta clasificación considera que el medio ambiente se divide en medio físico, el subsistema considera que la parte del factor ambiental que puede ser explotada por el hombre (desde un punto de vista productivo o como disfrute), es socioeconómico y el subsistema de núcleos e infraestructuras. (Otros autores consideran a éstos dos últimos dentro de un mismo subsistema), un recurso ambiental, el cual puede sufrir modificaciones cualitativas, cuantitativas o de tiempo de disponibilidad. Como se verá más adelante, a estos factores ambientales se les puede asignar un peso o índice ponderal. Este peso se expresa en unidades de importancia (UIP). Así se podrá valorar la importancia relativa de cada factor, según su contribución al medio ambiente (valoración cualitativa de un factor ambiental).

Proyecto

El proyecto es todo documento técnico que define o condiciona de modo necesario, particularmente en lo que se refiere a la localización, la realización de planes y programas, de construcciones o de otras instalaciones y obras, así como otras intervenciones en el medio natural o en el paisaje, incluidas las destinadas a la

explotación de los recursos naturales renovables y no renovables, y la de ordenación del territorio

2.3.3 Elementos del proceso de evaluación de impacto ambiental

Son elementos que forman parte de la EIA, pero que son apartados con entidad propia. Se pueden agrupar de la manera siguiente:

Impacto ambiental

Un impacto ambiental se produce cuando una acción o actividad implica una alteración, negativa o positiva, en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción o actividad puede ser un programa, un proyecto de ingeniería, un plan, una ley o una disposición administrativa con repercusiones ambientales. La palabra impacto no implica necesariamente "impacto negativo", ya que también puede ser un impacto positivo.

El impacto que produce un proyecto se puede definir como una diferencia entre dos situaciones del medio ambiente: la que tendría

en un futuro tras haber realizado un determinado proyecto y la situación que tendría en el futuro si no se hubiese realizado ese proyecto. Es decir, el impacto sería la alteración neta (positiva o negativa en la calidad de vida del ser humano) resultante de una actuación en la que también puede apreciarse la variación del impacto en función del tiempo ¹³⁾.

Calidad ambiental (CA)

La calidad ambiental del medio indica el estado de conservación de un factor ambiental. Los factores ambientales se miden en unidades muy heterogéneas que dificultan su comparación. La manera de unificar estas medidas es transformarlas en una escala común de puntuación. De este modo, se obtiene una medida uniforme cuyos valores oscilan del 0 al 1, representativa de la calidad ambiental (CA).

Por ejemplo, tomemos como factor ambiental las aguas de un río: si su estado de conservación es muy bueno, la CA será cercana a 1, mientras que si su estado de conservación es muy deficiente, será cercana a 0.

Fragilidad ambiental

Indica el grado de vulnerabilidad que tiene el medio frente a la incidencia de determinadas actuaciones susceptibles de deteriorarlo. Por ejemplo, una fragilidad ambiental alta la tendría un río cercano a un polígono industrial, susceptible de recibir vertidos. Un conjunto histórico sometido a restauración y con acceso prohibido a los visitantes, tendría una fragilidad baja.

Indicador de impacto ambiental

El indicador del impacto ambiental sobre un factor ambiental es aquel elemento asociado a ese factor que puede proporcionar una medida de la magnitud del impacto. En ocasiones este indicador es cualitativo pero, siempre que sea posible, se deben determinar indicadores cuantificables. Algunos ejemplos de indicadores pueden ser: para el factor "régimen pluviométrico", el indicador serían los l/m² de agua de lluvia recogida. Para el factor "nivel de CO₂", el indicador serían los ppm de CO₂ medidos. Para cada indicador de impacto, se debería establecer una función de transformación, de modo que, una vez valorado este indicador, esta función permita conocer el valor de la calidad ambiental (CA) del factor.

Extensión de un impacto

Indica cuál es la superficie afectada por un impacto ambiental. Para cuantificarla se utilizan unidades como los m², km², las hectáreas, etc.

Importancia de un impacto (I)

Este concepto se utiliza para poder valorar el grado de importancia de un impacto sobre un factor ambiental (no debe confundirse con la importancia del factor ambiental, son ambos conceptos diferentes).

Los impactos pueden ser cuantitativos o cualitativos. Los primeros se pueden valorar con relativa facilidad, por ejemplo, el impacto de un vertido de aguas residuales se puede medir como el aumento de oxígeno disuelto (DBO) que implica ese vertido. Entre los segundos, se engloban impactos como el producido por la introducción de una especie exótica en un ecosistema o el impacto visual que produce la construcción de una carretera en un paisaje. Así, en función de qué tipo de impacto se trate, se podrá valorar su importancia de una forma más o menos directa.

La importancia de un impacto viene representada por un número que se puede deducir mediante modelos que combinan los once símbolos de un impacto. Tal y como se verá más adelante, estos símbolos son: signo, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, efecto y periodicidad.

2.3.4 Elementos intrínsecos a la evaluación de impacto ambiental

Son conceptos que pueden ser o no característicos del medio, pero que deben ser definidos y cuantificados para poderlos incorporar a la evaluación.

Evaluación de impacto ambiental (EIA)

La evaluación de impacto ambiental es un procedimiento jurídico-administrativo que persigue la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales susceptibles de ser producidos por un proyecto o actividad, así como la prevención, corrección y valoración de estos impactos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas administraciones públicas competentes. Las EIA son técnicas

preventivas muy valiosas para la protección del medio ambiente. No son instrumentos de decisión, sino de conocimiento; es decir, permiten al promotor, al asesor ambiental o a la autoridad competente, tomar una decisión (Torres M., 2010; Conesa 1997)

El estudio de impacto ambiental (EslA), que incorpora una EIA, permite tomar decisiones objetivas, ya que proporciona un juicio imparcial sobre las consecuencias de los impactos que puede suponer la ejecución de una determinada actividad. Los logros más importantes que se consiguen con una EIA son:

- ✓ Identificar y evaluar los efectos que determinados proyectos de obras públicas e instalaciones industriales pueden tener sobre el medio (carácter preventivo de la EIA al integrar la protección del entorno a nivel de proyecto).
- ✓ Facilitar la toma de decisiones a los órganos administrativos públicos competentes en la EIA (régimen de autorizaciones administrativas).

✓ Prever, si es necesario, las actuaciones a adoptar para minimizar, eliminar o compensar los efectos eventualmente negativos sobre el medio (régimen de vigilancia e inspección).

A modo de resumen, se debe indicar que la EIA es un proceso que atiende a dos acepciones complementarias: Establecer el procedimiento jurídico-administrativo para que la administración competente apruebe, modifique o rechace un proyecto, obra o actividad; y predecir los impactos que un proyecto, obra o actividad, puede producir en el entorno (mediante el EsIA). Dependiendo de cuándo se incluye la EIA en el proceso general de toma de decisiones, se definirán tres tipos de enfoque:

Enfoque reactivo:

Se denomina así al hecho de realizar una EIA de un proyecto una vez ya ha sido tomada la decisión de ejecutarlo. En la práctica es una evaluación muy poco eficaz, ya que se realiza sobre algo que ya ha sido decidido con anterioridad, por lo que no se integra la protección del entorno en el proyecto. En la práctica, las tres decisiones posibles

que se pueden adoptar (aceptación, modificación, rechazo) quedan reducidas a una: la de aceptación.

Enfoque semi adaptativo:

Corresponde al que se daría cuando se decide tomar la decisión sobre el proyecto en cuestión como paso posterior a la realización del EIA. Actualmente este es el enfoque que se aplica.

Enfoque adaptativo:

Implica que el proyecto se incluye dentro de un plan previo que contempla el proceso de EIA. Este plan previo agilizará la EIA, ya que se detectarán y se tratarán mejor los puntos más problemáticos. Se considera que éste es el mejor enfoque posible.

2.3.5 Herramientas o procedimientos para la EIA

Junto al concepto de EIA se han definido otros tipos de procedimientos que muchas veces complementan al proceso de evaluación propiamente dicho y otras veces crean confusión sobre la

materia. A continuación se detallan los diferentes tipos de procedimientos afines a la EIA.

Evaluación estratégica ambiental (EEA)

La evaluación de impacto ambiental (EIA) implica el conocimiento del estado del medio ambiente, el proyecto, una predicción de la evolución del medio ante los impactos y, finalmente, la adopción de medidas correctoras que mitiguen los impactos negativos. Sin embargo, si este proceso de EIA se aplica a las etapas más tempranas en la toma de decisiones, estaremos hablando de una evaluación estratégica ambiental (EEA). La evaluación estratégica ambiental es un complemento y no un sustituto de la evaluación de impacto ambiental. Entre las características más importantes de la EEA se tienen:

- Se incorpora al proceso planificador, anticipándose a las propuestas de desarrollo.
- Refleja los efectos acumulativos (adicional, sinérgico, inducido, etc.) de varios proyectos, en vez de referirlos a un único estudio, tal y como hace la EIA.

- Valora diferentes alternativas en una etapa temprana de la planificación, a diferencia de la EIA, que sólo las contempla para un proyecto concreto y de forma limitada, en el momento en que muchas decisiones han sido ya tomadas.
- Incorpora criterios de sostenibilidad a la planificación.

Muchas veces ocurre que los gobiernos impulsan, incluso con el apoyo de beneficios fiscales, planes de desarrollo y proyectos, de índole menor, que globalmente pueden tener un impacto ambiental significativo. Es por ello que estos, a todos los niveles, deben realizar la evaluación ambiental estratégica, introduciendo la variable ambiental en sus programas y verificando que los costes ambientales no sean significativos para la sociedad.

En líneas generales, aunque no existe un método único, la metodología para la evaluación estratégica ambiental sigue el esquema de la EIA. De esta manera, parte de una Lista de verificación de impactos que relaciona diferentes actividades (generación de residuos, contaminación atmosférica y acústica, etc.) con los medios implicados (social, físico, biológico, etc.).

Dicha lista será la base para construir una red de interacción de impactos donde se reflejen las cadenas de impactos secundarios que se generan y su interacción sobre cada uno de los medios. Posteriormente, habrá que decidir cuáles de dichos impactos son o no significativos y proponer las medidas oportunas para corregir o minimizar dichos impactos. En este sentido, se tendrán en cuenta varios factores: extensión, potencial de daño, duración, cantidad, etc.

Por supuesto, toda evaluación ambiental tiene un cierto grado de incertidumbre a considerar. De esta manera, se deben evaluar las peores condiciones posibles y considerar en dicha evaluación la posibilidad de incluir en programas, políticas y planes de desarrollo, medidas preventivas, de mitigación o compensación.

Por último, es muy importante considerar diferentes alternativas para la consecución de los objetivos propuestos. En caso contrario, pueden darse conflictos entre las partes interesadas. De esta manera, siempre se deberán comparar las diferentes alternativas con

la no ejecución de plan alguno, política o programa, para asegurar que ésta última no es la mejor alternativa.

- **Estudio de impacto ambiental (EslA)**

Según Conesa, (1997) "es el estudio técnico, de carácter interdisciplinario, que incorporado en el procedimiento de la evaluación del impacto ambiental, está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno".

- **Valoración del impacto ambiental (VIA)**

La valoración del impacto ambiental permite comparar las diferentes alternativas de un proyecto, e incluso entre proyectos diferentes. Para hacer esta valoración, se utilizan unidades homogéneas de impacto ambiental, de modo que se puedan medir y comparar los diferentes impactos entre sí. Esto implica realizar un cambio de unidades, de modo que cada una de las medidas que se utilizan para evaluar cada impacto, deben ser transformadas en

unidades homogéneas de impacto ambiental. La valoración de impacto ambiental se realiza en la última fase del EsIA.

- **Declaración de impacto ambiental (DIA)**

Es el pronunciamiento de la autoridad competente de medio ambiente, en el que se determina, respecto a los efectos ambientales previsibles, la conveniencia o no de realizar la actividad proyectada y, en caso afirmativo, las condiciones que deben establecerse en orden a la adecuada protección del medio ambiente y los recursos naturales.

- **Estimación de impacto ambiental**

Es el pronunciamiento del organismo o autoridad competente en materia de medio ambiente (dependiendo de cada comunidad autónoma será una consejería, una secretaría general, etc.), en el que se determina, respecto a los efectos ambientales previsibles, la conveniencia o no de realizar la actividad proyectada y, en caso afirmativo, las condiciones que deben establecerse en orden a la

adecuada protección del medio ambiente y los recursos naturales, en base a un Informe de impacto ambiental y mediante el procedimiento de evaluación simplificada.

2.4 Tipología y caracterización de impactos ambientales

Los impactos ambientales se pueden clasificar según varios criterios, para el estudio realizado, se ha tenido en cuenta el propuesto por Torres Muro (2010), considera la siguiente tipología:

Variación de la calidad ambiental (Vca)

Establece si el cambio producido por la ejecución de las actividades dentro de la región Tacna en relación al estado inicial del componente ambiental mejora o se afectan; es decir, la característica relacionada con la mejora o reducción de la calidad ambiental.

Es positivo (+) si mejora la calidad de un componente ambiental y es negativo (-) si reduce la calidad del mismo.

Magnitud (Mg)

Esta característica está referida al grado de incidencia de la actividad sobre un determinado componente ambiental, en el ámbito de extensión específica en que actúa.

Cuadro 10

Escala de evaluación de la magnitud de los impactos

Escala	Explicación	Valor
Baja	Cuando la condición inicial del componente se mantiene o casi no varía	1
Moderada	Cuando el impacto produce cambios notorios pero no genera una desviación importante de las condiciones de línea de base.	2
Alta	Cuando el impacto supera los niveles aceptables, pudiendo perderse su condición inicial.	3

Fuente: Torres Muro (2010)

Establece la intensidad con que se manifiesta el impacto sobre el medio por las acciones realizadas. Siendo la magnitud del impacto calificada como se muestra en el cuadro 10.

Extensión (Ex)

Se refiere a las áreas o superficies afectadas, calificando el impacto de acuerdo al ámbito de influencia de su efecto, Siendo la extensión del impacto calificada como se muestra en el cuadro 11.

Cuadro 11

Escala de la evaluación de la extensión de los impactos

Escala	Explicación	Valor
Puntual	Los efectos del impacto se presentan dentro del área directamente perturbada por la fuente del impacto.	1
Local	Los efectos del impacto se presentan fuera del área directamente perturbada por la actividad impactante, pero dentro del área de estudio.	2
Regional	Los efectos del impacto superan el área del proyecto.	3

Fuente: Torres Muro (2010)

Persistencia (Per)

Establece el período de tiempo durante el cual las actividades realizadas involucran cambios ambientales, es decir, determina la

persistencia del impacto en el tiempo. Siendo la duración del impacto calificada como se muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12

Escala de evaluación de la persistencia de los impactos

Escala	Explicación	Valor
Corta	El efecto generado por el impacto permanece activo en un periodo inmediato	1
Temporal	Son los que permanecen por un periodo de tiempo regular que está en función de la actividad generadora y desaparecen cuando termina dicha actividad	2
Permanente	Son aquellos que se dan en forma continua durante la operación del proyecto y persisten aun cuando cesa la actividad que lo generó.	3

Fuente: Torres Muro (2010)

Capacidad de recuperación (Rec)

Este indicador para los impactos negativos, establece la capacidad de recuperación del componente ambiental impactado, ya sea debido a agentes naturales o por intermedio de acciones de

corrección o mitigación que se tengan que efectuar con el objetivo de mitigar el posible impacto.

Cuadro 13

Escala de evaluación de la capacidad de recuperación de los impactos

Escala	Explicación	Valor
Fugaz	El ambiente puede retornar rápidamente a su estado inicial o equivalente al inicial sin aplicar medidas preventivas y/o de mitigación, es decir de forma natural.	1
Recuperable	El ambiente puede retornar a su estado inicial o equivalente al inicial mediante la aplicación de acciones naturales o medidas preventivas, mitigación y/o remediación,	2
Irrecuperable	El ambiente no puede retornar a su estado inicial o equivalente al inicial a pesar de la aplicación de medidas preventivas, mitigación y/o remediación.	3

Fuente: Torres Muro (2010)

Es decir, mide la capacidad del ambiente de retornar a una situación similar o equivalente a la inicial. Siendo la recuperabilidad del impacto calificada como se muestra en el cuadro 13

Sinergia (Si)

Establece si la manifestación conjunta de dos o más impactos resultaría en un impacto mayor al que se obtendría si cada uno actuase por separado. La escala de valoración es la siguiente: si el impacto es sinérgico se le asigna un valor de tres (3), por el contrario, si el impacto no es sinérgico se le asigna el valor cero (0).

Significancia (Sg)

La significancia define la relevancia o importancia de cada impacto ambiental identificado para la actividad. La significancia se calcula de la siguiente manera:

$$Sg = Vca (2 Mg + Ex + Per + Rec + Si)$$

Debido a que la magnitud, es el criterio que tiene mayor injerencia al momento de definir la significancia del impacto analizado, se ha determinado asignarle una doble ponderación con la finalidad de que refleje dicha propiedad. La escala de valoración para la significancia se indica en el cuadro 14.

Cuadro 14

Escala de evaluación de la significancia de los impactos

Impacto	Rango	Significancia
Positivo	12 a 15	Altamente positivo
	8 a 11	Moderadamente positivo
	4 a 7	Baja Significancia
Negativo	5 a 8	Baja Significancia
	9 a 12	Moderadamente Negativo
	13 a 18	Altamente negativo

Fuente: Torres Muro (2010)

De acuerdo a la escala utilizada para los criterios de evaluación, no se obtendrán valores en el rango de 0 a 4 para impactos negativos; ni tampoco valores en el rango de 0 a 3 para impactos positivos.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación realizada, según Hernandez S. y otros, (2007), se puede catalogar como una investigación no experimental y relacional, ya que se llegó al conocimiento del estado de las relaciones del hombre con su entorno al cuantificar el potencial energético solar en la región Tacna, y cómo esta interrelación impacta sobre unos y otros, para abastecer de energía eléctrica a la región considerando lo actuado, de tal manera que nos permita planificar medidas para contrarrestar y /o minimizar dichos impactos negativos y potenciar los positivos, asimismo utilizando datos experimentales recolectados, estos se han procesado para calcular variables dependientes como la cantidad de gases efecto invernadero que se dejarían de emitir a la atmósfera y la cantidad de combustibles fósiles que se ahorrarían.

3.1.2. Diseño de investigación

Los estudios experimentales - descriptivos miden con la mayor precisión posible, de manera independiente los conceptos o variables a los que se refieren. La descripción puede ser más o menos profunda pero en cualquier caso, se basa en la medición de uno o más atributos del fenómeno descrito.

En particular esta investigación culminó con un cálculo de las variables dependientes, pues se cuantificó el potencial energético solar sobre la base de datos de heliofonía e irradiancia solar obtenidos experimentalmente, luego se analizó el estudio de la línea base de la región de Tacna, seguidamente se realizó un estudio descriptivo cuantitativo de los impactos ambientales producidos por las obras de afianzamiento hídrico de la laguna de Aricota para la generación de energía, con esta información se realizaron los cálculos para cuantificar la cantidad de gases de efecto invernadero como el CO_2 , SO_x , NO_x que se dejaría de emitir al usar el potencial energético solar, así como la cantidad de combustibles fósiles que se

dejaría de usar bajo un escenario de uso masivo de la energía solar en la región.

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población de estudio

La población considerada para el presente estudio, la constituye las zonas geográficas de la región Tacna ámbito de las ocho estaciones en las cuales sean registrado datos de heliofonía e irradiancia solar, con una extensión de 16 053 Km², la cual está constituida por cuatro provincias: Tacna, Jorge Basadre Grohmann, Tarata y Candarave, cada una conformada por 10, 03, 08, y 06 distritos, respectivamente.

El universo está constituido por el total del área geográfica de la región Tacna caracterizada por sus ecosistemas, flora, fauna, zonas de vida, hidrografía, aspectos poblacionales, sociales, económicos, precipitación, áreas de conservación ecológica, culturales, y lugares arqueológicos de las cuatro provincias y sus distritos correspondientes.

3.2.2. Muestra de estudio

Para este propósito se analizaron y procesaron los datos de horas de sol (heliofonía) registrados históricamente por el Senamhi Tacna, e igualmente se trabajaron la información registrada de la irradiancia global en los últimos años por la estación meteorológica del Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT) de la Facultad de Ciencias de la UNJBG.

En lo referente a los datos de heliofonía, estos han sido suministrados por la Dirección Regional del Senamhi Tacna – Moquegua, bajo el mecanismo de convenio existente entre dicha entidad y la UNJBG, en este caso los datos proporcionados corresponden a datos promedios mensuales de heliofonía correspondientes a los años 2006 al 2011 obtenidas con las estaciones de Tarata, Candarave, Calana, Chuapalca, Ite, y Vilacota, y del año 2002 al 2011 para las estaciones de ciudad de Tacna, y Locumba, en total de ocho estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes distritos de las cuatro provincias de la región, detalladas en el cuadro 15.

Cuadro 15

Ubicación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI Tacna para la medición de horas de brillo solar

ESTACIÓN METEOROL	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Provincia	Distrito
TARATA	-17° 28' 45''	70° 02' 9,6''	3100	TACNA	TARATA
CANDARAVE	-17° 17' 26,2''	70° 16' 2,18''	3415	CANDARAVE	CANDARAVE
JORGE BASADRE GROHMANN	-18° 01' 36''	70° 15' 2,4''	560	TACNA	TACNA
LOCUMBA	-17° 36' 48''	70° 46' 05''	550	J.BAS G.	LOCUMBA
CALANA	-17° 56' 28''	70° 10' 50''	848	TACNA	PALCA
CHUAPALCA	-17° 21' 50''	69° 38' 5,45''	4250	TARATA	TARATA
ITE	-17° 51' 36,3''	70° 57' 5,3''	160	J. BAS G.	ITE
VILACOTA	-17° 07' 43''	70° 03' 5,2''	4390	TARATA	SUSAPAYA

Fuente: Elaboración propia (2012)

La cantidad de datos de heliofonía disponibles por día en cada una de las estaciones meteorológicas indicadas es de uno, y durante el periodo 2006 al 2011 en Tarata, Candarave, Calana, Chuapalca, Ite, y Vilacota, se dispone de 2 190 datos, en conjunto suman 13 140 datos; y para las estaciones de Tacna y Locumba en el periodo 2002 al 2011 se tienen acumulados en ambas años 7 300 datos, considerando la totalidad de las estaciones indicadas, se cuenta con 20 440 datos de heliofonía. Los lugares de medición de heliofonía a

nivel de la región Tacna, se ilustran en el mapa regional de la figura 15.

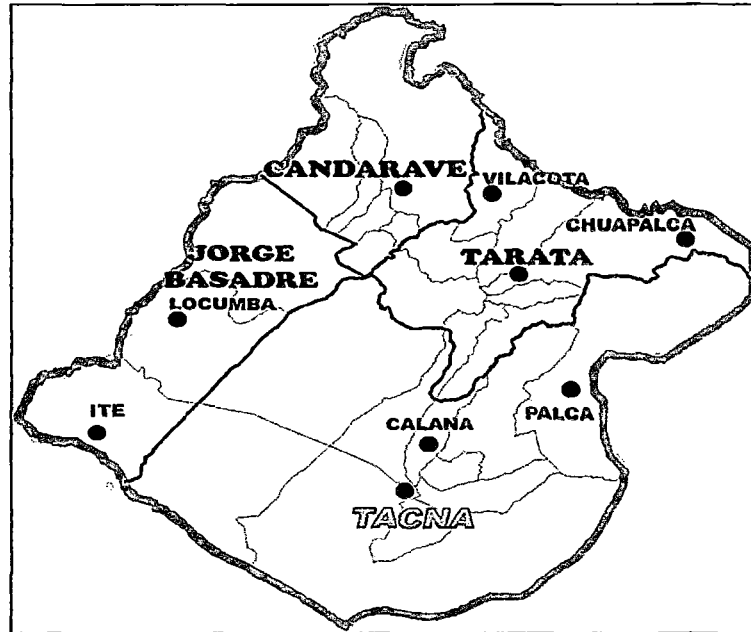


Figura 15: Ubicación de las estaciones meteorológicas del Senamhi Tacna, para el registro de heliofonía diaria
Fuente: Elaboración propia (2012)

En el caso de la medición diaria de la irradiancia solar global en el Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT) de la UNJBG, ubicada en la ciudad Universitaria, a una altitud de 500 msnm, se ha utilizado dos tipos de solarímetros; el Keep & Zonnen que usa como sensor una placa negra absoluta y el tipo Fotovoltaico

que usa como sensor una celda solar fotovoltaica, y se han registrado datos con el Keep & Zonnen los años 1985, y 1995, y con el solarímetro Fotovoltaico se tiene información de los años 2010, y 2011, para cada año se cuentan con valores promedios horarios de la irradiancia solar global (W/m^2) sobre una superficie horizontal, es decir por cada día se cuentan con 24 datos, los cuales resultan del promedio automático programado para cada 10 minutos, en total por año se tienen 8760 valores o datos, a partir de los cuales se obtienen valores promedios diarios, mensuales, estacionales y anuales de la irradiancia solar, y por consiguiente datos de la energía solar diaria, mensual, estacional, y anual en kilowatt-hora incidente por metro cuadrado de superficie en un día ($kWh/m^2.día$), durante los cinco años indicados se tienen en total 43 800 datos de irradiancia solar global.

Por otro lado, se han tomado como referencia la información establecida por el Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM), a través del Atlas Solar del Perú, sobre la energía solar incidente sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado, por día en $kWh/m^2.día$, equivalente a la irradiancia solar global promedio mensual y anual sobre toda la región Tacna, correspondiente al

periodo 1975 al 1990, a efectos de comparación e información mas detallada por cada distrito de las cuatro provincias de la región.

3.3. Operacionalización de las variables de estudio

Las variables de estudio identificadas fueron las siguientes:

Variable Independiente: Potencial energético solar

Definición Conceptual: Consiste en la medición y cuantificación de la irradiancia solar global que incide sobre la superficie terrestre de un metro cuadrado sobre una superficie horizontal, en promedio mensual, estacional y anual, usando instrumentos de medición llamados solarímetros y heliógrafos, los valores correspondientes se pueden presentar en promedios diarios, semanales, mensuales, estacionales y anuales.

Dimensiones: Irradiancia solar global / Heliofonía

Indicadores:

Es la potencia electromagnética incidente global sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado, proveniente del sol y que

atraviesa la atmósfera terrestre, su unidad de medida son los W/m^2 ; se mide con solarímetros

Heliofonía: Es el tiempo, en horas, durante el cual el sol tiene un brillo solar efectivo en el que la irradiancia solar directa alcanza o excede un valor umbral variable entre 120 y 210 W/m^2 y más. También se le suele denominar "brillo solar" ó "insolación"; se mide con los heliógrafos.

Definición Operacional:

La irradiancia solar global incidente por metro cuadrado sobre una superficie horizontal en promedio anual (kWh/m^2 día.año) determina el potencial energético solar sobre cada lugar geográfico de región.

Variable Dependiente: Impacto Ambiental

Constituido por la cantidad de gases de efecto invernadero: como el dióxido de Carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2) que se dejarían de emitir por cada caloría o Joule o Kilowatt-hora de energía solar usada; y por la cantidad de combustibles tradicionales de

petróleo, carbón, y gas que se dejarían de consumir o se ahorrarían al utilizar masivamente el potencial energético solar

Definición Conceptual

Un impacto ambiental es el efecto que alguna actividad natural o de origen antrópico causa sobre el medio ambiente natural o artificial. Un impacto puede ser positivo o negativo, dependiendo si produce daño o beneficio sobre el ambiente. Pueden ser determinados cualitativa o cuantitativamente.

Dimensión: Impacto positivo

Indicador: Efecto que en el contexto de un análisis completo de los costos y beneficios genéricos, se traduce en una mejora de la calidad ambiental.

Dimensión: Impacto Negativo

Indicador: Efecto que se traduce en pérdida de valor paisajístico, cultural, ecológico, social o económico de una zona determinada, derivados de la contaminación.

Dimensión: Impacto Directo

Indicador: Efecto que tiene una incidencia inmediata en algún factor ambiental (gases de efecto invernadero dejados de emitir por el uso de combustibles fósiles).

Dimensión: Impacto Indirecto

Indicador: Efecto que supone una incidencia inmediata respecto a la interdependencia o, en general a la relación de un factor ambiental con otro (ahorro de combustibles fósiles)

Definición Operacional:

Denominamos indicador de Impacto Ambiental, al elemento o concepto asociado a un factor que proporciona la medida de la magnitud del impacto en sus aspectos cualitativo y cuantitativo. Algunos indicadores pueden expresarse numéricamente, mientras que otros emplean conceptos de valoración calificativos, tales como excelente, muy bueno, bueno, regular, deficiente, nulo, etc. Para cada indicador de impacto, es preciso disponer de una función de valores asociada, que permita establecer la Calidad Ambiental en función de la magnitud de aquel.

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

A efectos de contar con información o datos para el tratamiento de las variables involucradas en el presente trabajo de investigación, se procedió de la forma siguiente:

Con la finalidad de obtener información sobre heliofonía de las cuatro provincias de la región Tacna, se hizo uso del convenio de cooperación inter institucional entre la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI), a través de la Dirección Regional Tacna Moquegua, considerando que dicha institución cuenta con diversas estaciones meteorológicas en los lugares indicados, con las cuales viene registrando diariamente información de parámetros meteorológicos, tales como heliofonía, temperatura y humedad relativa ambiente, velocidad y dirección del viento, evapotranspiración, presión atmosférica, geotemperaturas (temperatura del suelo), precipitación fluvial, entre otros; en base a

esta información, con el uso de software especializados, y el apoyo satelital de la sede central ubicada en la ciudad de Lima, predicen las condiciones meteorológicas de la región.

Para el caso de la medida de la irradiancia solar global cuentan con heliógrafos del tipo Campbell - Stokes, que se caracterizan porque cuentan con una esfera de cristal, por la cual pasa la radiación solar directa, la cual sale de la misma en forma concentrada, y registra la irradiancia quemando una banda de papel con graduación horaria, cuentan con sistema de ajuste de orientación a la trayectoria solar (ver figura 14), la cantidad de horas de sol diarias o heliofonía se determina diariamente midiendo las longitudes de la banda de papel quemadas, luego con la ayuda de la ecuación de Kimball - Ångstrom (2.8), se calcula la irradiancia solar global correspondiente.

Esta institución cuenta con la información indicada desde el año 1975 a la fecha, con los cuales se pueden realizar cuantificaciones promedios de los últimos 36 años, para el presente estudio han

proporcionado información de heliofonía de los últimos seis y diez años, según sea la estación correspondiente.

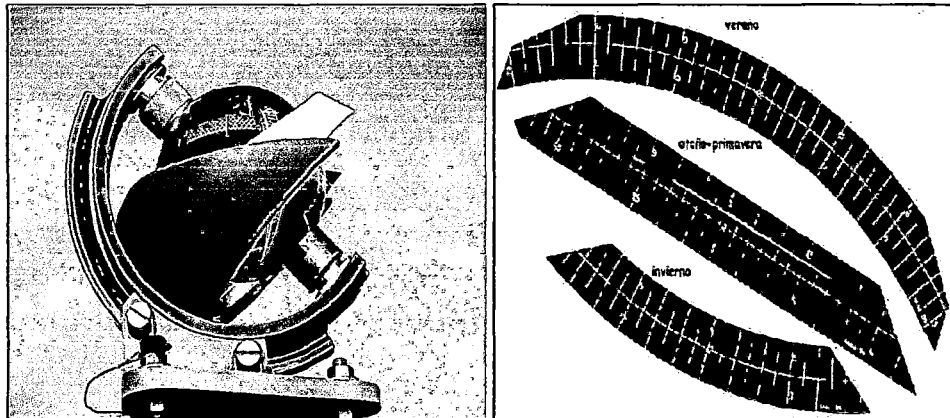


Figura 16: Vista general del heliógrafo tipo Campbell – Stokes, y bandas de registro, usado por al Senamhi Tacna – Moquegua
Fuente: Elaboración propia (2012)

Los datos de irradiancia solar global (W/m^2) registradas en el CERT de la UNJBG, se almacenan en forma electrónica y automática, con la ayuda de una memoria electrónica de datos (Squirrel); y con el tipo Fotovoltaico el cual es parte de los sensores de una estación meteorológica automatizada tipo Hobos, en este caso los datos se almacenan en su propio sistema digital de almacenamiento; en ambos casos con un software especial los

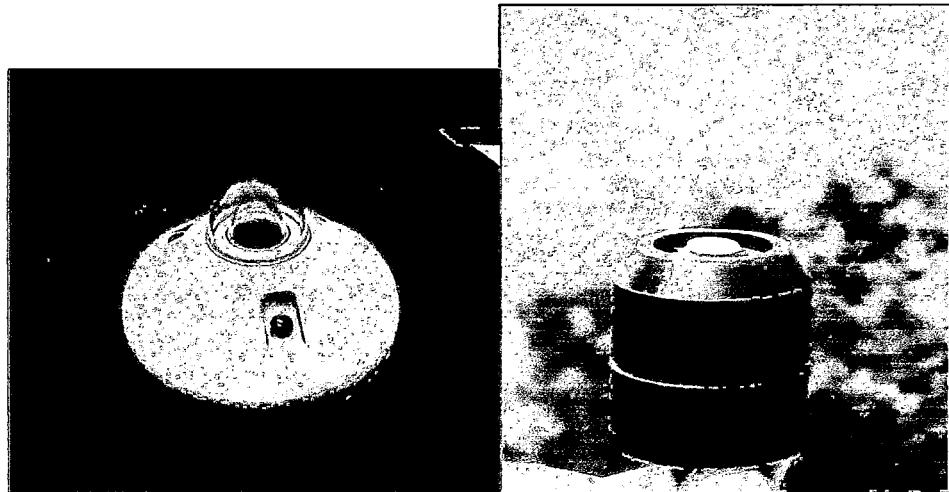


Figura 17: Vistas de los solarímetros Keep & Zonnen (izquierda), y fotovoltaico (derecha) del CERT.

Fuente: CERT - Archivo propio (2012)

datos acumulados se transfieren al computador, en el cual se procesan de acuerdo a los objetivos establecidos.

Para establecer la línea de base, determinar los impactos sobre el medio ambiente por el uso del agua y el uso de combustibles tradicionales para la generación de energía eléctrica de uso regional, y determinar la cantidad de gases de efecto invernadero y la cantidad de combustibles fósiles que se ahorrarían, se ha recurrido a datos secundarios, equivalencias energéticas,

tazas de emisiones de gases CO₂, SO₂, N_xO por cada tipo de combustible fósil, provenientes de bases ya existentes, así como también al conocimiento propio del autor.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos y su procesamiento correspondiente, se ha usado los siguientes equipos e instrumentos:

- 02 solarímetro Moll – Gorczynsky de la Kipp & Zonnen, de sensibilidad espectral comprendido 0,3 y 3 μm , con un tiempo de respuesta de 5 segundos y una constante de calibración de $10,35 \times 10^{-3} \text{mV /W.m}^2$; y resolución de $\pm 0,1 \text{W/m}^2$
- 01 sistema de adquisición de datos, marca Squirrel SQ 1200 series, de 16 canales
- 01 estación meteorológica, marca HOBO Weather Station H21-001, con sensor fotovoltaico para medir irradiancia solar global, resolución de $\pm 1 \text{W/m}^2$

- 01 computadora personal HP Pavilion dv 2621^a
- Heliógrafos tipo Campbell-Stokes con bandas de papel

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Se procedió a la aplicación de ecuaciones matemáticas correspondientes en el procesamiento de los datos de heliofonía recolectados, y con los registrados electrónicamente con la ayuda de software correspondiente se transfirieron al computador para el cálculo de la irradiancia solar global sobre una superficie horizontal y la energía solar incidente equivalente, en valores promedios diarios, mensuales, estacionales y anuales.

Por otro lado para cuantificar la cantidad de gases de efecto invernadero como el CO₂, SO₂, y N_xO, se ha recurrido a tablas que especifican las tasas de emisión de estos gases por cada tipo de combustible involucrado; igualmente en el cálculo de la cantidad de petróleo, gas y carbón mineral que se ahorrarían bajo un escenario de uso masivo del potencial energético solar regional se han utilizado las equivalencias energéticas establecidas en tablas correspondientes.

Para el análisis cualitativo de los impactos ambientales causados por el afianzamiento hídrico de la laguna de Aricota para la hidrogenación de energía eléctrica, como asimismo en la determinación de los impactos causados por el uso de combustibles fósiles y el uso de la energía solar se ha usado la información existente y, con la ayuda de redes para la evaluación cualitativa y matrices valorativas para la evaluación cualitativa de impactos según la metodología de Leopold.

Igualmente se ha analizado y trabajado la información de energía solar de la región Tacna establecida en el Atlas Solar del Perú, presentándose geográficamente valores promedios mensuales de la irradiancia solar global sobre una superficie horizontal, para toda la región de Tacna, incluidos sus distritos y provincias, correspondiente al periodo 1975 a 1990.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Caracterización de línea base de la región tacna

4.1.1 Aspectos demográficos

Según el INEI, 2005, en el último censo nacional de población y vivienda del 2005, la cantidad de personas que habitan en la región Tacna ascienden a 285 071, lo que implica un crecimiento importante al valor registrado en el censo pasado (1993) en el cual la población tacneña era de 223 768, con ello la tasa de crecimiento poblacional anual regional alcanza: los 2,57%. Sin embargo, este crecimiento no resulta siendo completamente homogéneo, porque la acentuación poblacional se maximiza en determinados espacios geográficos. Estos fundamentalmente, se encuentran referidos a la ciudad de Tacna y los espacios periféricos a este; en cuyo caso la dinámica demográfica es claramente más resaltante que el resto del territorio tacneño.

La intensidad demográfica es mayor en este centro urbano, sobre el que converge la mayor proporción de personas que habitan nuestra región y que además centraliza la actividad económica y de servicios de esta. Claramente se distingue que el aporte específico de la provincia de Tacna, resulta siendo el más notorio; explicando el 91,26% de la población regional, los distritos urbanos de Coronel Gregorio Albarracín, Ciudad Nueva, Alto de la Alianza así como el mayoritariamente urbano Tacna los que generan el aporte más grueso a este porcentaje, La megacefalía de la urbe capital regional queda remarcada en dicho gráfico, lo que determina adicionalmente a la existencia de flujos migratorios humanos, otros de naturaleza estacional y periódica configurados por la propia naturaleza fronteriza y comercial de la ciudad.

Esto plantea una heterogeneidad socio cultural en los centros urbanos más poblados, y probables problemas y conflictos de naturales socio-cultural. Así, mucha de la población originaria siente que se la desplaza de sus espacios naturales y se les resta capacidad para provocar sus propias decisiones a favor del inmigrante; del mismo modo este último percibe que el entorno en el

Cuadro 16

Caudal demográfico de la región Tacna;

Población		%	Distrito	Población	%
Candarave	8 543	3,11	Curibaya	249	0,09
			Cairani	1 315	0,48
			Huanuara	735	0,27
			Quilahuani	918	0,33
			Candarave	3 430	1,25
			Camilaca	1 896	0,69
Jorge Basadre	8 814	3,21	Locumba	1 692	0,62
			Ite	1 763	0,64
			Ilabaya	5 359	1,95
Tacna	250 509	91,26	Palca	1 106	0,40
			Pachía	1 747	0,64
			Inclán	2 802	1,02
			Calana	2 394	0,87
			Sama	2 217	0,81
			Pocollay	15 503	5,65
			Tacna	97 247	35,43
			Cnl. G. Albarracín	55 549	21,33
			Alto de la Alianza	33 877	12,34
			Ciudad Nueva	35 067	12,78
Tarata	6 630	2,42	Estique Pampa	108	0,04
			Estique	318	0,12
			Héroes Albarracín	447	0,16
			Sitajara	337	0,12
			Ticaco	731	0,27
			Tarucachi	337	0,12
			Susapaya	747	0,27
			Tarata	3 605	1,31
TOTAL	274 496	100,00		274 496	

Fuente: INEI (2005)

que ahora vive no es propio y estimula el vínculo con su espacio de origen. En el cuadro 16 podemos apreciar claramente el caudal demográfico por distrito, provincia y región

4.1.2 Aspectos sociales

Para evaluar las condiciones sociales se analiza los niveles de cobertura de servicios que la población de los distintos ámbitos de la región posee; estructurando sobre los mismos la conformación de grupos similares u homogéneos. Tal vez los puntos recurrentemente revisados son aquellos referidos a la cobertura de agua potable y electricidad, servicios que por su necesidad son catalogados como básicos. (INEI, 2005)

La ubicación geográfica de Tacna en una zona árida, desértica constituye el principal factor limitante para su desarrollo. El crecimiento demográfico centralizado en torno al valle de Tacna determina con ello un nuevo punto problema de cómo garantizar la dotación de agua potable a una población cada vez mayor en un medio con escasez del mismo.

La Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Tacna

S.A. a la fecha provee de agua potable a la ciudad de Tacna, esto es el conglomerado de espacios urbanos de la zona baja del valle de Tacna; a través de 49 581 conexiones así como de 280 piletas ubicadas fundamentalmente en zonas periféricas de la ciudad de Tacna. Esto implica 204 273 personas abastecidas en sus propias viviendas con el líquido elemento en nuestra ciudad (para tal cálculo hemos utilizado una densidad por vivienda de 4,12 estimada sobre la base de la media ponderada de habitantes por vivienda generada en el último censo para la zona); lo que nos determina una cobertura de 89,33%. En contraparte son 24 410 las personas que carecen a la fecha de un sistema público de provisión de agua potable en sus domicilios (esto es el 10,67% de la población analizada). La demanda actual de agua potable en la ciudad de Tacna anualmente ya supera los 24,27 MMC siendo este valor ostensiblemente mayor a la actual oferta que alcanza los 15,77 MMC en ese mismo lapso de tiempo. Este déficit determina un grado enorme de vulnerabilidad para el crecimiento importante de la ciudad de Tacna y plantea nuevas fuentes de conflicto futuro si es que contemplamos que la mayor provisión de recurso supone el traslado del mismo de las zonas altoandinas escasamente poblada hacia el conglomerado

urbano preponderante.

La ciudad de Tacna, se abastece de las aguas superficiales proveniente de los ríos Uchusuma y Caplina. El agua captada de las fuentes superficiales es tratado mediante dos plantas de tratamiento de agua: Calana y Alto de Lima que tienen una capacidad de tratamiento de 400 y 100 l/s respectivamente. Adicionalmente este sistema extrae agua del subsuelo del valle de Tacna, mediante dos pozos que en conjunto tienen una capacidad de explotación de 35 l/s. En cuanto a la continuidad del servicio de agua en la ciudad de Tacna, se encuentra en 19 horas en promedio, pese a que la producción per cápita está en el orden de 203 l/hab/día.

4.1.3 Biodiversidad de la región tacna

Según GRRN-GMA-GRT, 2009, en la región se presentan varios pisos ecológicos, caracterizados por humedales de lte, lomas, tillandsiales, escasa ó nula vegetación, piso de cactaceas y matorral seco, relictos de carzo, matorral sub húmedo, pajonal-tolar, tolares,

pajonal, yaretales, bosques de queñoales, bofedales, nival, lagunas.; en lo ítems de zonas de vida regional se especifica la flora para cada zona de biodiversidad.

En el cuadro 17 se indica el tipo de biodiversidad con su correspondiente superficie territorial y porcentaje de área regional., considerando que la superficie total regional es de 16 009,74 km², ó 1 600 974 hectáreas (ha).

En la figura 18, se muestra el mapa forestal regional con las respectivas áreas de biodiversidad descritas anteriormente, representadas en código de colores, destaca la zona de biodiversidad de escasa o nula vegetación con una superficie de 767 987,11 ha, que representa el 47,97 % del total del área regional, esta zona de color amarillo abarca desde la costa hasta el límite con la zona de sierra, donde se ubica la zona desértica, en la cual la flora y la fauna es muy escasa.

Cuadro 17

Tipo de la biodiversidad de la región Tacna, en porcentaje respecto al área total regional

TIPO DE BIODIVERSIDAD	AREA (ha)	PORCENTAJE DEL AREA REGIONAL (%)
HUMEDALES	1 182,70	0,073
LOMAS	17 503,45	1,09
TILLANDSIALES	27 302,95	1,70
MONTE RIBERENO y VEGETACIÓN ANTRÓPICA	50 568,77	3,15
ESCAZA ó NULA VEGETACIÓN	767 987,11	47,97
CACTACEAS Y MATORRAL SECO	186 390,54	11,64
RELITOS DE CARZO	430,89	0,026
MATORRAL SUB HÚMEDO	180 426,20	11,27
PAJONAL - TOLAR	324 534,07	20,27
QUEÑUALES	28 184,18	1,76
BOFEDALES	11 039,88	0,68
NIVAL	3 829,11	0,23
LAGUNAS	5 163,92	0,32

Fuente: Elaboración propia (2012)

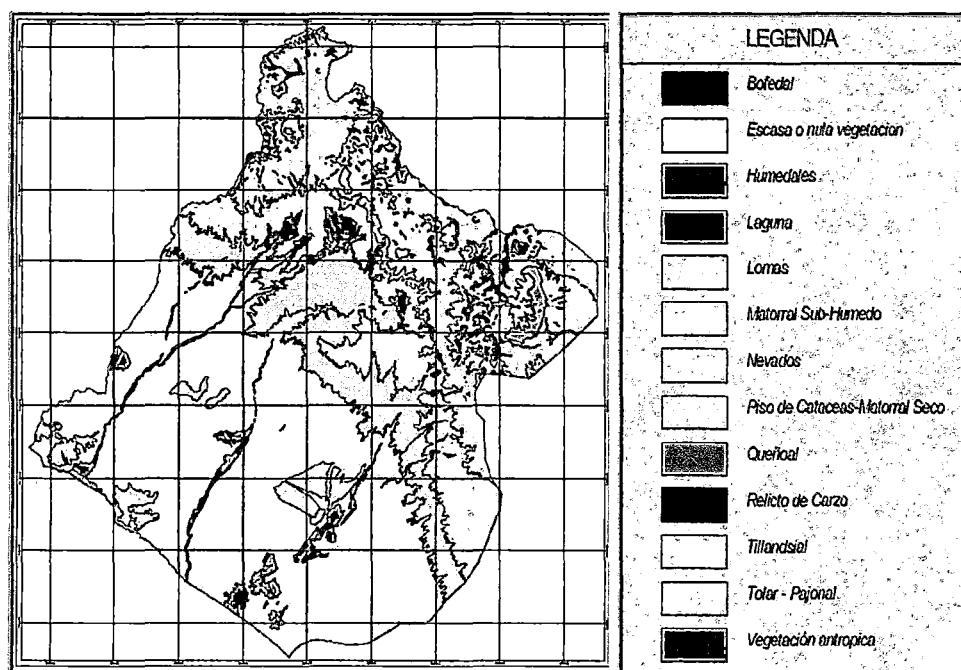


Figura 18: Mapa forestal de la región

Tacna

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

4.1.4 Desertificación en la región tacna

La desertificación significa generalmente la degradación de los recursos naturales renovables, principalmente suelo, vegetación, agua y otros, en las condiciones de una intensa presión ecológica. La desertificación se manifiesta principalmente en los cambios que se producen en la cubierta vegetal y la población animal, régimen acuíferos y favoreciendo los procesos erosivos destructores, llegando en extremo a la plena destrucción de la cubierta vegetal,

salinización de las tierras irrigadas, entre otros problemas. La desertificación es habitualmente el resultado de la influencia de dos tipos de factores: naturales y antropogénicos. Como factores naturales podemos mencionar a las sequías provocadas por las particularidades climáticas de las zonas áridas y semiáridas. Las consecuencias de la desertificación en el país, se dejan ver a través del deterioro de la calidad de vida a nivel familiar, poblacional y nacional. Las causas de la desertificación, tanto naturales como antropogénicas, son muy complicados y diferentes entre regiones y a su vez interdependientes (GRRN-GMA-GRT, 2009)

Cuadro 18

Descripción de las seis clases de desertificación en Tacna

CLASE DE DESERTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	Hectáreas (ha)
Antrópico	Construcción de canal	374,88
Antrópico	Mina - Tajo abierto	1 757,71
Antrópico	Expansión poblacional	1 836,21
Antrópico	Sobreexplotación Hídrico	537,35
Natural	Influencia de aguas termales	263,55
Antrópico	Relave minero	241,24
Total		5 010,94

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

El mapa final de la desertificación regional tiene como resultado, 22 polígonos identificados, los cuales fueron agrupados en seis clases, en el cuadro 18 se detalla las características de las seis clases. Entre 1987 y el 2006 Se tiene un total de 5 010,94 ha de cubiertas vegetales desertificadas o áreas perdidas, de los cuales 4 747,4 ha son atribuidas a la actividad humana.

Las áreas de conservación regional (ACR), prioritarias se propone abarcar 18 zonas con un total de 187 202,22 ha lo que suponen un total de 11,69 % de la superficie de Tacna, de todas las áreas, solo el ACR Vilacota – Maure ha sido declarada como tal con un área de 116 815,72 ha (7,03 % del área regional) en la zona altoandina de la región. (GRRN-GMA-GRT, 2009; y Torres M., 2010)

4.1.5 Flora de la región Tacna

Entre las formas biológicas más dominantes tenemos a las hierbas seguidas de los arbustos y por último a los árboles, del total de las especies 104 son endémicas y 35 especies están dentro de la categorización de la flora silvestre amenazada.

A continuación se detalla el estado en la cual se encuentran las diferentes especies de la flora en la región Tacna:

Peligro crítico: (CR) *Haplorus peruviana*, *Chersodoma arequipensis*, *Carica candicans*, *Ephedra breana*, *Weberbauerella*, *Buddleja coriácea*, *Kageneckia lanceolata*,

Vulnerable (Vu): *Azorella compacta*, *arastrephia quadrangulari*, *Parastrephia lepidophylla*, *Perezia coerulescen*, *Senecio nutans*, *gnus acuminata*, *Browningia candelaris*, *Corryocactus brevistylus*, *Caesalpinia spinosa*, *Geoffroea decorticans*, *Prosopis pallida*, *Polylepis besserii*, *Tropaeolum seemannii*, *Valeriana nivalis*, *Junellia arequipensis*

Amenazado (NT): *Baccharis genistelloides*, *Chuquiraga potundifolia*, *Mutisia acuminata var hirsuta*, *Gnusra weberbaveri*, *Tecoma sambucifolia*, *Ephedra americana*, *Acacia macracantha*, *Acacia huarango*, *Cantua buxifolia*, *Solanum acaul*.

Peligro (EN): *Tillandsia werdermannii*, *Prosopis chilensis*, *Krameria lappacea*, *Polylepis tomentella*

A continuación se caracteriza las principales tipos de flora de la región:

Distichlis spicata (Grana salada), se distribuye en zonas secas, son gramíneas cespitosas. Entre una altitud de 0 – 500 m

Nolana sphaulata (Nolana), se distribuye en la zonas costeras son propias de lomas se encuentran frecuentemente en quebrada de burros en Morro Sama, desde los 0 hasta los 1500 m; especie con un potencial ornamental tiene unas flores muy llamativas, son endémicos en nuestra región (GRRN-GMA-GRT, 2009).

Carica candicans Mito, (Papaya silvestre), se encuentra en Morro Sama, entre 450 – 600 m; especie endémica de la zona costera, esta categorizado como en peligro crítico, existen pocos individuos de esta especie, sus frutos son comestibles usados como digestivo.

Tillandsia werdermannii (Siempre viva), se encuentran en planicies al norte de la ciudad cruzando la panamericana en las pampas del Intiorko, Alto de la Alianza y Lomas.

Schinus molle (Molle, Falso pimienta), crece en laderas y bordes de los ríos de los valles de Calientes, Sama, Locumba, desde

los 500 – 3200 m, es utilizado para la leña y también con usos medicinales para aliviar la tos, reumatismo, gripe y bronquios.

Equisetum giganteum (Cola de caballo), planta, crece en zonas húmedas cerca de las riberas de los ríos y canales de los valles del Caplina, Sama y Locumba, entre los 1300 – 3500 m, presenta varios usos medicinales, es utilizado para las afecciones renales, hepáticas, urinarias, y resfríos; por ello es que esta especie está siendo depredada ya que es expandida como planta medicinal.

Arundo donax (Carrizo), se distribuye en todos los valles tanto costeros como interandinos. Principalmente en el valle de Locumba, entre los 1500-3000 m, es una gramínea muy utilizada por los pobladores tacneños para elaborar esteras que se expenden en los diferentes centros de abasto. Es una especie potencialmente comercial.

Salix humboldtiana (Sauce), planta ribereña en los valles del Caplina, Sama y Locumba forma parte de la vegetación de monte ribereño, entre los 1300-3400 m, es una especie abundante en los valles de alto poder regenerativo es utilizada para leña y también como cercos vivos.

Opuntia soehrensii (airampu), se distribuye en las zonas altoandinas de todo la región, entre los 3500-4000 m, es un cactus muy conocido por su utilidad en la medicina tradicional, las semillas son utilizadas para combatir la sarampión y la fiebre.

Caesalpinia spinosa (Tara), se distribuye fundamentalmente en los valles cercana a Tarata, entre una altitud: 2600-3300 m, Es un árbol que es utilizado para leña a su vez como medicina tradicional para aliviar la tos.

Dunalia spinosa (Yara), crece en los bordes de terrenos cultivados, laderas y zonas pedregosas, en Tarata, Candarave y Palca., entre los 2900-3700 m. Arbusto de 1,5 m de alto, es leñoso y frondoso, es utilizado para el dolor de muela, heridas e inflamaciones.

Parastrephia lepidophylla (Tola), arbusto, crece en zonas y laderas rocosas, forma parte de los matorrales en todo el ámbito altoandino de la región Tacna, entre los 3600 – 4200 m, presenta usos medicinales como antitusígenos y eczema.

Polylepis besserii (Queñoa), árbol, crece en laderas y zonas rocosas, forma los bosques de queñoales. Se distribuye en Tarata y Candarave, entre los 3800 – 4100 m. Es la única especie que forma

bosque naturales en nuestra región, esta especie esta categorizada como vulnerable. Es utilizada como leña y como medicinal.

Zorella compacta (Yareta), Arbusto almohadillado, crece formando grandes comunidades en laderas y zonas rocosas en todo el ámbito altoandino de Tacna, entre los 4200 – 4900 m, especie que se encuentra en la categorización de vulnerable, es utilizada como medicinal para las afecciones pulmonares, hepática, renal, dolor de hueso y dolor de muela.

4.1.6 Fauna en la región Tacna

Se han identificado un total de 240 especies de fauna, distribuidos en 27 ordenes, 63 familias y 150 géneros. el grupo más numeroso está conformado por las aves (77,2%), seguido de los mamíferos (10%), los reptiles (6,67 %), los anfibios (2,92%) y los escorpiones con un (2,5%).

A continuación se lista taxonómicamente la fauna amenazada en la Región de Tacna.

Anfibios:

Casi amenazado: *Bufo spinulosus* (sapo)

Vulnerable: *Telmatobius arequipensis* (rana);

Aves:

Casi amenazado: *Falco peregrinus cassini* (Halcon peregrino); Halcon peregrino (Halcon *Oreomanes fraseri* (Pajaro de los Queñoales); *Tinamotis pentlandii* (Kiuwla)

En peligro: *Conirostrum tamarugense* (mielerito de los tamuragales); *Eulidia yarelli* (Picaflor de Tacna); *Pelicanus thagus* (Pelicano); *Phalacrocorax bougarvillii* (Guanay); *Phalacrocorax gaimard* (Cormoran Patirojo); *Spheniscus humboldii* (Pingüino); *Sula variegata* (piquero peruano); *Vultur gryphus* (condor)

En peligro crítico: *Pelecanoides gamotii* (potoyunco); *Pterocnemia* (*Rhea*) *pennata* (*suri*). (GRRN-GMA-GRT, 2009)

Mamíferos:

Casi amenazado: *Puma concolor* (Puma); *Vicugna vicugna* (vicuña)

En peligro: *Lama guanicoe* (Guanaco); *Lontra felina* (Gato Marino, Chullunco); *Oreailurus jacobita* (*Oreailurus jacobita*)

En peligro crítico: *Chinchilla brevicauda* (Chinchilla); *Platalina genovensium* (Murcielago longirostro)

Reptiles:

Casi amenazado: *Ctenoblepharis adspersa* (lagartija); *Microlophus tigris* (lagartija)

Principales tipos de aves de la región Tacna

Pterocnemia (Rhea) pennata tarapacensis (Suri), se encuentra en la zona Altoandina lo podemos observar en el sector de Tripartito, Paucarani y Mamaraya, su hábitat preferido son las planicies y cerros de la zona de la puna., entre los 4100-4500 msnm. Se encuentra al borde de la extinción, está protegida por el estado peruano según decreto supremo 034-2004-AG y en los apéndices CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres).

Lophonetta specularioides alticola (Pato, Ungalla (voz aymara)
Pato, pato crestón, pato cordillerano, se encuentra en humedales altoandinos, como los de Vilacota, laguna Suches y río Maure, entre los 4000-4500 msnm.

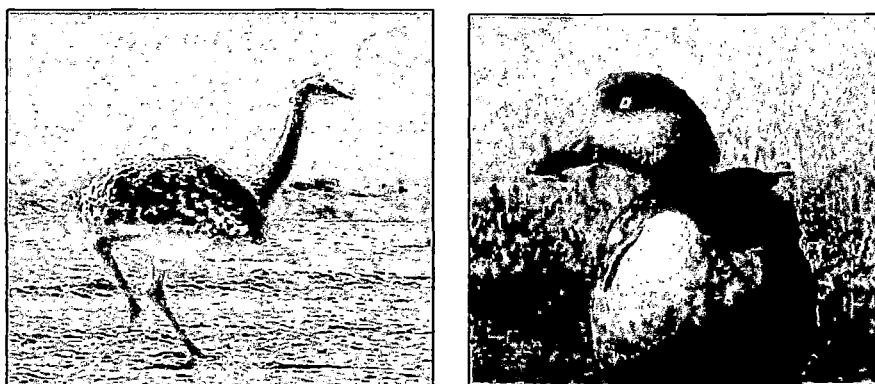


Figura 19: Vista del Suri y el pato crestón en la zona altoandina de la región

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

Chloephaga melanoptera (Huallata, Ganzo andino), se encuentra en parte Altoandina, prefiere bofedales. La podemos observar en los humedales altoandinos de Huaytire, C.P.M. Maure, Kallapuma., entre los 3900 - 4500 msnm.

Vultur gryphus (Cóndor, Malku) (voz quechua), se encuentra en Candarave, volcán Yucamani y distrito de Huanuara, entre los 2800 - 4500 msnm. Especie en peligro según la categorización de INRENA, protegido también por el apéndice CITES. (GRRN-GMA-GRT, 2009)

Tinamotis pentlandii (Perdiz), entre 3700 - 4500 msnm. Registros en la zona altoandina, común en pajonales asociados a yaretales de Huaytire, Vilacota, nevado de Paralocos y el Ayro.

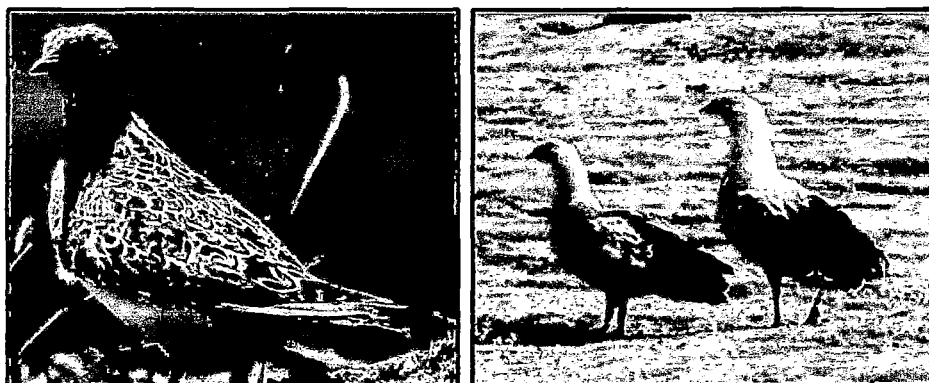


Figura 20: Vista de Puco Pucu (perdiz), y del ganzo andino o pallata
Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

Tipos de mamíferos en la región Tacna

En este grupo se encuentra la *Oreailurus jacobita* (Gato andino, entre los 4000 - 4500 msnm.

Lama guanicoe cacsyles (Guanaco ó Huanaco), se encuentra entre los 500-4000 msnm. Es una especie que se desplaza mucho, se la puede encontrar en ocasiones en lomas costeras, la apacheta de Tarata y en quebradas secas de Huanuara. Es una especie que se encuentra en peligro.

Vicugna vicugna (Vicuña), se encuentra entre 3900-4500 msnm, podemos verla en el C.P.M. Maure – Kallapuma, en Mamaraya y el Tripartito. Es una especie que se encuentra

vulnerable, está protegida por el estado peruano según decreto supremo 034-2004-AG y el apéndice CITES.



Figura 21: Vista de mamíferos: guanaco y la vicuña en la zona altoandina de la región

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

Lagidium peruanum (Vizcacha), se encuentra entre 3500-4300 msnm, en roquedales de la laguna de Suches, bofedales de Paucarani, también común en Queñoales del sector de “Chivatería” en Tarata.

4.1.7 Zonas de vida en la región Tacna

Las zonas de vida representan a una unidad bioclimática, que se caracterizan por tener cierta uniformidad desde el punto de vista topográfico, vegetación, climático, edafológico, entre otros, según la

GRRN-GMA-GRT, 2009, desde este punto de vista se han identificado trece zonas de vida

a) Desierto desecado – templado calido (ds - Tc)

Se encuentra en la franja latitudinal Templado Cálido con una superficie de 4 392,26 km², es decir, el 26,92% de la superficie de la región Tacna, es la zona con mayor extensión, se encuentra delimitada por el lado superior e inferior el desierto superárido Templado cálido (ds-Tc) y la franja litoral hasta los humedales de Ite. Se distribuyen, esencialmente, a lo largo del desierto costero del departamento, desde el nivel del mar hasta cerca de 1600 m de altitud y entre 37 2484 y 8024174 UTM, ocupa la parte inferior de la cuenca Caplina, Locumba. Aquí se encuentran los distritos de: Ite, Locumba, Ilabaya, Inclán, Alto de la Alianza, Tacna, Ciudad Nueva, Calana, Pocollay, Pachía, Gregorio Albarracín Lanchipa

La biotemperatura media anual máxima es de 20,3 °C (Magollo) y la media anual mínima, de 17,1 °C (Calana). El promedio máximo de precipitación total por año es de 25,60 mm (Jorge Basadre) y el promedio mínimo, de 2,10 mm (Locumba).

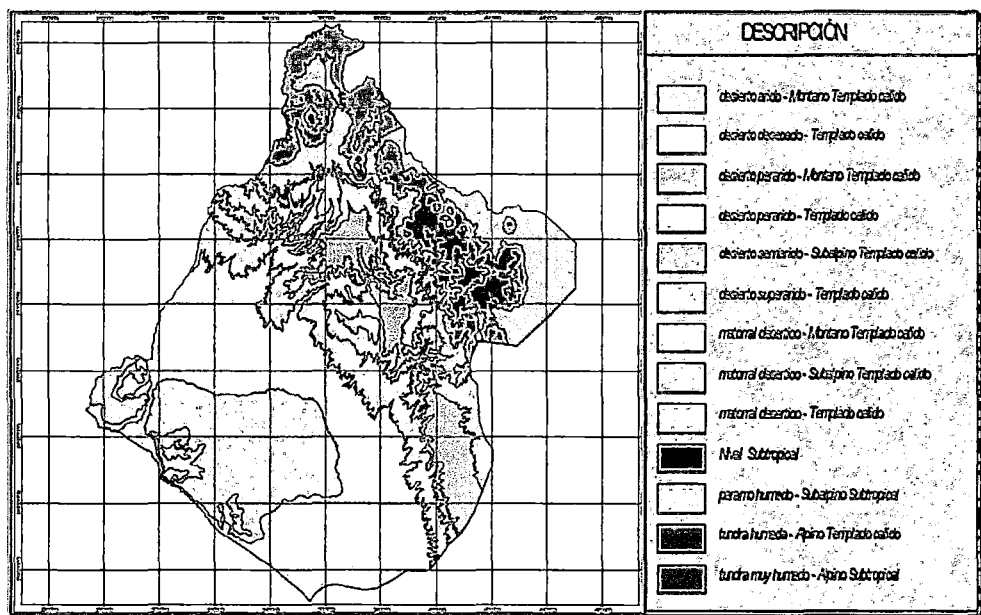


Figura 22: Gráfico que muestra las trece zonas de vida de la región Tacna

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

Según el Diagrama bioclimático de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año, en el desierto desecado - Templado Cálido (dd-Tc), varía entre 32 y 64 veces la precipitación. A consecuencia de esta elevada relación de evapotranspiración potencial, la zona de vida se ubica en la provincia de humedad: DESECADO.

Esta zona de vida son cruzadas por huellas de flujos aluviónicos cargados de material grosero, el escurrimiento superficial lento, el drenaje excesivo, la permeabilidad alta y la vegetación natural nula; la presencia de pedregosidad superficial es una característica de ésta zona de vida, la que se encuentra rodeada de formaciones líticas y litosólicas. Morfológicamente, los suelos son superficiales y con matices pardos que varía desde plano a ligeramente ondulado, propio de las planicies elevadas de la región costera sur. En la zona sur del desierto desecado Templado cálido se ubica pequeñas formaciones de dunas que son producto de la acción eólica, lo cual constituye un inconveniente para las labores agrícolas.

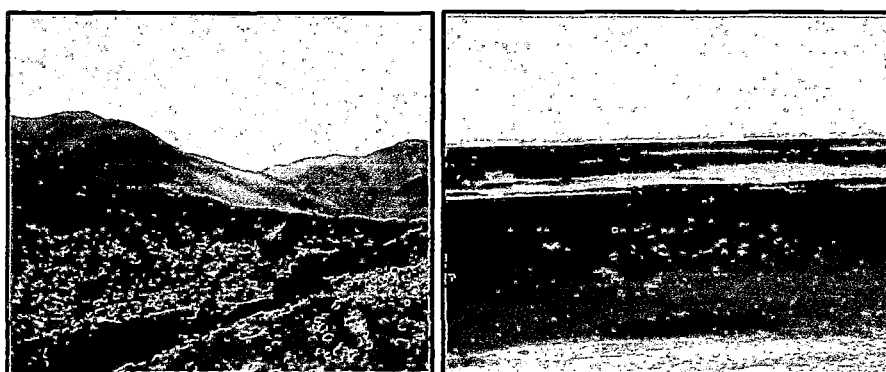


Figura 23: Vista panorámica de las lomas de Morro Sama, espejos de agua y vegetación predominante de humedales de Ite
Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

Con respecto a la flora existente resalta la correspondiente a los humedales de Ite, dentro de los Tillandsiales de Tacna encontramos a las siguientes especies: *Tillandsia werdermannii*, *T. purpurea*, *T. landbeckii*, *T. capillaris*. La flora del monte ribereño es más o menos similar en todas las cuencas involucradas. En nuestra región, esta formación se desarrolla a nivel de las cuencas del Caplina, Sama y Locumba a lo largo de ellas se desarrollan especies representativas como *Acacia macracantha*, *Tessaria integrifolia*, *Schinus molle*, *Arundo donax*, *Prosopis chilensis*, *Leucaena leucocephala*, *Equisetum giganteum*, *Pluchea chingollo*, *Tecoma fulva*, *Walteria ovata*, *Lycopersicon chilense*, *Salix humboldtiana*, *Cortaderia ovata*, *Otholobium pubescens* entre otras. Además se encuentran relictos como el de "Carzo" (*Haplorhus peruviana*) y el "Chañal" (*Geoffroea decorticans*).

Por su carácter desértico casi absoluto el terreno en esta zona de vida resulta sin uso real o potencial para fines agropecuarios o forestales. Solamente donde el terreno, por su configuración, carácter edáfico y accesibilidad a los ríos semipermanentes existen pequeñas áreas regables y adaptadas al cultivo.

b) Desierto superarido-templado calido (ds- Tc)

Se ubica en la franja latitudinal Templado cálido, con una superficie de 3 523,49 km², es decir, el 21,60 % de la extensión territorial de la región. En nuestra región se encuentran tres formaciones de esta zona de vida, la primera formación con las coordenadas UTM 382359 y 8034410 colinda con todo el borde inferior del desierto perárido Templado cálido (dp-Tc) y formando así una faja continua con el borde superior del desierto desecado Templado cálido (dd-Tc), la segunda formación con las coordenadas UTM 330305 y 8012669 se ubica en lado occidental del departamento siendo rodeado por la zona de vida desierto desecado Templado cálido (dd-Tc) y la tercera formación con las coordenadas 289064 y 8038025 se ubica en el lado norte de la región en el límite con Moquegua. Geográficamente, se distribuye a lo largo de las vertientes occidentales de los andes, entre los 1600 y 2400.msnm, limitando con la república de Chile y la región Moquegua. En esta zona de vida se ubican los distritos Ite, Ilabaya, Sama, Inclán, Estique, Estique Pampa, Pachía, Tacna.

La biotemperatura media anual es de 19° C (Sama). El promedio máximo de precipitación total por año es 44,80 mm (Lluta) y el promedio mínimo 36,70 mm (Sama). Según el Diagrama Bioclimático de Holdridge, en estas dos Zonas de Vida el promedio de evapotranspiración potencial total por año fluctúa entre 16 y 32 veces la precipitación, razón por la cual la zona de vida queda ubicada en la provincia de humedad: SUPERARIDO.

Los suelos se asientan sobre un material de origen volcánico, con una superficie suave sin pendientes bruscas y sin la presencia de pedregosidad. El escurrimiento superficial es lento, el drenaje interno excesivo y la permeabilidad moderadamente rápida. La vegetación está formada por algunas tilansias. Morfológicamente, son suelos superficiales de matices rojo amarillento a pardos. La capacidad productiva de estos suelos es baja. La vegetación es muy escasa, característico en toda la franja desértica de la región Tacna, en esta formación es típico cactáceas columnares como por ejemplo *Browningia candelaris*, pequeñas cactáceas como *Opuntia corotilla* y *Opuntia sphaerica* y especies como *Schinus molle*, *Lycopersicon chilense*, *Atriplex peruviana*, *Trixis cacalioides* y *Nicotiana glauca*.

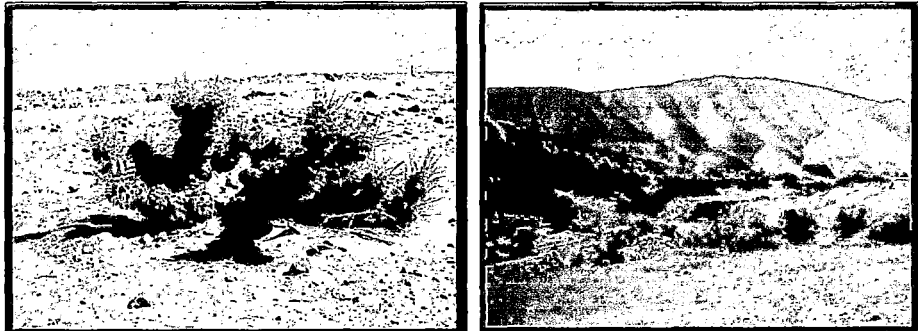


Figura 24: Cactáceas en zonas áridas, y Torrenteras de vegetación

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

La tierra es utilizada en aquellos lugares donde se cuenta con riego permanente, como es el caso de los ríos Locumba, Sama y Caplina, prosperando cultivos hortícolas, maíz, frutales (hueso y pomoides), olivo y alfalfa, principalmente.

c) Desierto perárido-templado calido (dp - Tc)

Se ubica en la franja latitudinal Templado Cálido con una superficie de 1071,85 km²., es decir, 6,57 % de la superficie regional. Esta zona de vida presenta una distribución geográfica dentro de la región costera e intermedia del flanco occidental andino del departamento de Tacna, entre los 2400 y 2800 msnm se enmarca entre 393535 y 8039903; 323813 y 7996565; 312419 y 8014448; 292532 y 8032962 UTM. Estos tres últimos descienden sus límites altitudinales inferiores hasta ubicarse muy cerca del nivel del mar.

Los distritos que se encuentran en el desierto perárido-Templado cálido son Ite, Ilabaya, Chucatamani, Inclán, Sama, Estique, Estique pampa, Pachía, Palca y Tacna.



Figura 25: Vista de la zona desértica camino a Palca y a Tarata
Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

La biotemperatura media anual varía entre 12 y 18 °C y que el promedio de precipitación total por año fluctúa entre 62,5 y 125 mm. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración potencial total del desierto perárido – Templado Cálido (dp-Tc) varía entre 8 y 16 veces a la precipitación, ubicándola por lo tanto en la provincia de humedad: PERARIDO.

La configuración topográfica es predominantemente accidentada con pendiente pronunciada que sobrepasa el 70%, alternando con unas áreas de topografía más suave. Los suelos son generalmente superficiales (Litosoles) y donde mejora la topografía aparecen los Xerosoles de textura media y generalmente calcáreas o gípsicos (yeso). Asimismo, se tiene Andosoles Vitricos (dominados por materiales volcánicos).

La vegetación es muy escasa y se circunscribe a hierbas anuales de vida efímera, dominando las gramíneas así como arbustos, subarbustos y cactáceas de los géneros *Cereus* y *Opuntia*. Se puede puntualizar al "*Cereus candelaria*", que presenta una forma de candelabro gigante, "*Opuntia subulata*" y la "*Fraseria fruticosa*", que crecen en forma dispersa o entremezclada con otras plantas. En zonas donde se cuenta con riego permanente, prosperan cultivos hortícolas, maíz, trigo, papa, alfalfa y frutales prunoideos y pomoides (de hueso). En general, se presta para cultivos tanto intensivos como permanentes de tendencia criofílicas.

d) Desierto perárido-montano templado calido (dp-MTc)

Ocupa una extensión de 66,94 km²., y está distribuida en la región latitudinal Templado Cálido, presenta un 0,41% de la superficie regional. Geográficamente, el desierto perárido-Montano Templado cálido (dp-MTc) se distribuye entre las coordenadas 371856 y 8053093. Altitudinalmente se extiende entre los 2600 Y 3400 msnm. En esta zona de vida se encuentran los distritos de Inclán, Chucatamani, Estiquepampa.

La biotemperatura media anual varía entre 6 y 12 °C y que el promedio de precipitación total por año fluctúa entre 31,25 mm y 62,50 mm. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, la evapotranspiración potencial total del desierto perárido-Montano Templado cálido (dp-MTc) varía entre 8 y 16 veces a la precipitación, ubicándola por lo tanto en la provincia de humedad: PERARIDO.

El relieve topográfico es predominantemente accidentado con laderas o declives mayores de 60%. El cuadro edáfico está representada por Litosoles (incluye formaciones líticas) y suelos de naturaleza volcánica (Andosoles Vitricos) en pendientes pronunciada. La vegetación es muy escasa a base de hierbas anuales, gramíneas

y cactáceas. Fundamentalmente cactáceas de tipo columnar como *Browningia candalaria*, *Neoraimondia arequipensis* y *Corryocactus brevistylus*, y algunos cactus esféricos. Debido a las severas limitaciones topográficas dominantes, estas zonas de vida ofrecen muy pocas condiciones favorables para el desarrollo de una agricultura, ganadería o actividades forestales, actualmente, el uso es limitado.

e) Matorral desérticotemplado calido (md- Tc)

Se ubica en la región latitudinal templado cálido, con una superficie de 229,20 km², es decir 1,40%. Esta zona de vida corresponde a las denominadas "lomas", que son zonas de vegetación de definida periodicidad invernal que se encuentra a lo largo de la región costera sobre cerros entre los 50 a 900 msnm en las cercanías del mar pacífico. Esta zona de vida, matorral desértico Templado cálido (md- Tc), es el que representa en forma más típicas las condiciones reinantes de clima y vegetación. Son de gran interés científico.

Se extiende desde las coordenadas UTM 279649 y 8033932; 305833 y 8015098; 305981 y 8008456. La zona se enmarca en los distritos de Ite y Sama, de ha estimado que la biotemperatura media anual varía entre 12 y 17 °C, y que el promedio de precipitación total por año fluctúa entre 125 y 250 mm; el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 4 y 8 veces la precipitación. A consecuencia de esta relación de evapotranspiración potencial, las zonas de vida se ubican en la provincia de humedad: ARIDO.

Existe una gran topografía variada y una diversidad de estructuras geológicas de origen volcánico y sedimentario con una predominancia de laderas de moderada a fuerte inclinación. Estas comunidades están siempre mejor desarrolladas en donde hay vertientes y anfiteatros fisiográficos que obstaculiza las neblinas frías procedentes del mar. Los suelos son Regosólicos y Litosólicos. Ambos grupos contienen desde bajas hasta regulares cantidades de humus, existe también una capa de materia orgánica parcialmente descompuesta que llegan a cubrir el suelo mineral. Esta humedad sirve como reserva, la cual es nuevamente devuelta a la atmósfera

solamente a través de la transpiración de las plantas, en especial por arbusto de sistemas radiculares profundas.

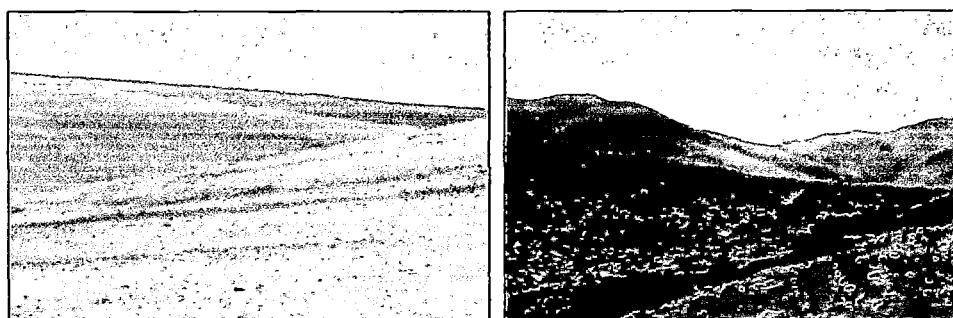


Figura 26: Vista panorámica de las lomas en Sama y en Morro Sama
Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

Entre las especies más representativas de las lomas se tiene al género *Nolana* entre ellas *N. adansoni*, *N. arenicola*, *N. confinis*, *N. gracilliana*, *N. lycioides*, *N. pallidula*, *N. spathulata*. *Cleome chilensis*, *Tetragonia macrocarpa*, *Alternanthera pubiflora*, *Chenopodium petiolare*, *Cotula australis*, *Ipomoea opulifolia*, *Loasa ureas*, *Cristaria multifida*, *Palaua dissecta*, *Oxalis lomana*, *Cistanthe celosoide*, *Nicotiana paniculada*, *Solanum radicans*, *Trixis cacalioides*, entre otras.

Económicamente, estas tierras sirven solamente para ganadería extensiva y temporal en tiempos de garúas invernales.

Como pasto de alguna importancia, se necesita aplicar una ordenación técnica, basada en investigaciones científicas.

f) Desierto arido montano templado calido (da-MTc)

Se encuentra en la franja latitudinal Templado Cálido con una superficie de 233,68 km², es decir, el 7,56% de la superficie regional, es la zona con mayor extensión. El desierto árido Montano Templado cálido (da-MTc) se encuentra delimitado por lado el lado superior con el matorral desértico Montano Templado cálido (md-MTc) y el desierto semiárido Subalpino Templado cálido (dse-SaTc) y en su parte inferior por la zona de vida desierto perárido Templado cálido (dp-Tc). Se distribuyen, esencialmente, a lo largo de las vertientes occidentales del departamento, desde los 2800 y 3200 m de altitud y entre 387239 y 8042675 UTM. En esta zona de vida se encuentran los distritos de Ilabaya, Huanuara, Curibaya, Sitajara, Chucatomani, Ticaco, Tarata, Tarucachi, Estique, Estique pampa, Pachía, Palca y Tacna.

La biotemperatura media anual es de 12,2 °C (Tarata). El promedio máximo de precipitación total por año es de 177,40 mm

(Tarata) y el promedio mínimo, de 70,70 mm (Palca). Según el diagrama bioclimático de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año, varía entre 4 y 8 veces la precipitación. A consecuencia de esta relación de evapotranspiración potencial, la zona de vida se ubica en la provincia de humedad: ARIDO. El relieve topográfico es fuertemente accidentado con laderas escarpadas y con declives superiores al 70%. Los suelos son generalmente de naturaleza calcárea, perteneciendo a xerosoles. Dominada mayormente los litosoles y otras formas de suelos tradicionales y someros. Andosoles vítricos (suelos volcánicos) aparecen en esta zona de vida en su franja subtropical y templadas- cálido. La vegetación está representada predominantemente por las gramíneas de los géneros *Stipa*, *Festuca*, *Calamagrostis* y la "Tola" (*Lephydophyllum cuadrangulares*), la *Fraseria fruticosa* y cactáceas de los géneros (*Cereus candelaria*). Asimismo existen especies del género *Opuntia*, muchas de ellas afines a la *Opuntia subulata*.

La escasa precipitación pluvial y el relieve topográfico accidentado actúan como factores limitativos para toda actividad

agrícola, pecuaria y aún forestal. Potencialmente es una zona de vida de escaso valor para el desarrollo agropecuario.

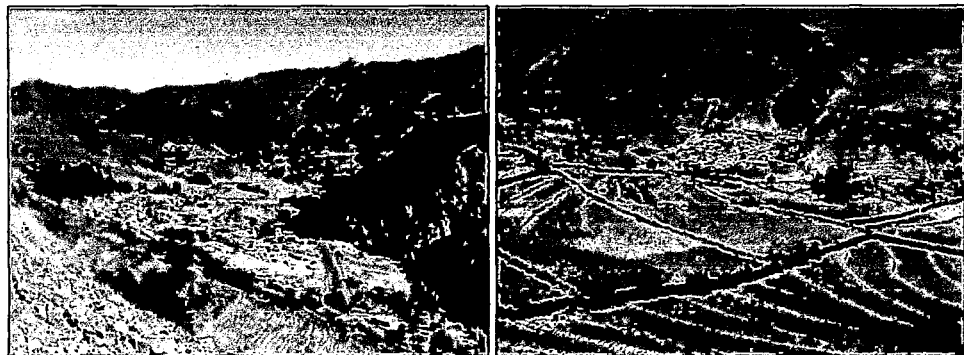


Figura 27: Matorrales en los alrededores de Huanuara; matorrales cercanos a Estique Pueblo

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

g) Matorral desértico montano templado calido (md-MTc)

La zona de vida matorral desértico Montano Templado cálido (md-MTc) se ubica en la región latitudinal templado cálido, con una superficie de 624,81 km², es decir 3,83%. Esta zona de vida se encuentra a lo largo de la región andina entre las zonas de vida desierto árido Montano Templado cálido y matorral desértico Subalpino Templado cálido entre los 3200 a 3800 msnm Se extiende desde las coordenadas 388277 y 8073808 UTM. La zona de vida se enmarca en los distritos de Ilabaya, Cairani, Camilaca, Huanuara,

Quilahuani, Candarave, Sitajara, Susupaya, Ticaco, Tarata, Tarucachi, Estique.

Según el diagrama bioclimático de Holdridge, se ha estimado que la biotemperatura media anual se encuentra en 9,6 °C, y que el promedio de precipitación total por año fluctúa entre 203,00 y 106,20 mm, el promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 2 y 4 veces la precipitación. A consecuencia de esta relación de evapotranspiración potencial, la zona de vida se ubica en la provincia de humedad: SEMIARIDO. La configuración topográfica es predominantemente abrupta a base de laderas de marcada inclinación (más de 70%), siendo muy pocas las áreas de topografía suave. Los suelos pertenecen al grupo de los xerosoles principalmente, por lo general de textura variada entre media a fina, calcáreo y de bajo contenido de materia orgánica. Donde existe una marcada influencia volcánica, aparecen los andosoles vítricos. Los litosoles, en terrenos de fuerte pendiente, completan el molde edáfico de esta zona de vida.

La vegetación natural dominante está constituida por arbustos, sub-arbustos y cactáceas, además de una cubierta rala de gramíneas perennes anuales que desarrollan solamente durante el corto período de lluvias veraniegas. Destacan los géneros *Stípa*, *Calamagrostis* y *Festuca*, entre los más importantes. La agricultura es de carácter de subsistencia en áreas cercanas a fuentes de agua. Mayormente no tiene potencial forestal, excepto la recolección de arbustos para leñas por parte de la población asentada en esta zona de vida

h) Desierto semiárido sub alpino templado cálido (dse-SaTc)

Ocupa una extensión de 341,60 km², y está distribuida en la región latitudinal Templado Cálido. representan un 2,09% de la superficie regional. Geográficamente, se ubica en la cuenca alta del río Caplina y se distribuye entre las coordenadas 13880 y 8028628 UTM. Altitudinalmente se extiende entre los 3200 a 4000 msnm. En el desierto semiárido –Subalpino Templado cálido (dse-SaTc) se encuentran los distritos de Pachía, Palca, Estique, Tacna.

Mediante el diagrama bioclimático de Holdridge, se ha estimado que la biotemperatura media anual varía entre 3 y 6 °C, y que el

promedio de precipitación total por año fluctúa entre 159,8 mm, el promedio de evapotranspiración potencial total por año en el matorral desértico Templado cálido (md- Tc), varía entre 4 y 8 veces la precipitación. A consecuencia de esta relación de evapotranspiración potencial, las zonas de vida se ubican en la provincia de humedad: ARIDO. La configuración topográfica es predominantemente escarpada, con abundantes afloramientos rocosos debido a las condiciones climáticas dominantes y la topografía del terreno. El molde edáfico está básicamente constituido por suelo litosólicos (someros) o formaciones puramente líticas. Así mismo, aparece andosoles vítricos litosólicos (de naturaleza volcánica).

Debido a las condiciones climáticas dominantes y a la topografía del terreno, prácticamente existe poca vegetación. Sin embargo, en algunos lugares se observa gramíneas dispersas de los géneros *Festuca*, *Calamagrostis* y tola (*Fabiana stephanii*), así como cactáceas del género *Oreocereus*. En base a sus severas limitaciones tanto climáticas como topográficas esta zona de vida no tiene potencial agropecuario, actualmente no existe prácticamente actividad al respecto

i) Matorral desértico subalpino templado calido (md-SaTc)

Se ubica en la región latitudinal templado cálido, con una superficie de 466,62 km², es decir 2,86 % de la superficie regional, se encuentra entre los 3800 a 4000 msnm. Se extiende desde las coordenadas 394712 y 8069764 UTM. La zona de vida se enmarca en los distritos de Ilabaya, Cairani, Camilaca, Huanuara, Quilahuani, Candarave, Sitajara, Susupaya, Ticaco, Tarata, Tarucachi, Estique, Pachía, Palca.

Mediante el diagrama bioclimático de Holdridge, se ha estimado que la biotemperatura media anual varía entre 3 y 6 °C, y que el promedio de precipitación total por año fluctúa entre 125 y 250 mm, el promedio de evapotranspiración potencial total por año en el matorral desértico Subalpino Templado cálido (md-SaTc), varía entre 1 y 2 veces la precipitación, a consecuencia de esta relación de evapotranspiración potencial, la zona de vida se ubican en la provincia de humedad: subhúmedo.

El relieve topográfico es quebrado variando a colinado, típico del borde occidental andino. El escenario edáfico está constituido por suelos negros, generalmente ácidos y con o sin influencia de

materiales volcánicos. Los matorrales altoandinos denominados tolares ocupan grandes extensiones entre los 3600 y 4600 m de altitud. Se asientan sobre grandes llanuras formadas por antiguos cauces y coladas volcánicas, siendo típicas en las planicies por encima de las zonas de cultivos tanto de las provincias de Candarave y Tarata, estas comunidades son de tamaño pequeño y se



Figura 28: Vistas de tolares cerca del volcán Yucamani, 4100 m snm, y antes de llegar al volcán Yucamani a 3600 msnm

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

va intercalando en diferentes zonas la predominancia de las especies, como la *Parastrephia lucida*, *Parastrephia lepidophylla* y *Tetraglochin cristatum*. Por encima de los 3800 msnm existen asociaciones entre los tolares, pajonales y yaretales. Entre las especies más representativas de matorrales se tienen a: *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia.lucida*, *Chersodoma*

jodopappa, Adesmia spinosissima, Tetraglochin cristatum, Baccharis tricuneata, Baccharis genistelloides, Junellia juniperina, Chuquiraga rotundifolia, Senecio spinosus y Brezales de *Fabiana stephanii*. Los pajonales son agrupaciones en matas de gramíneas de hojas duras y punzantes conocida con los nombres vulgares de "ischu, ichu o paja" encantándose en toda la zona altoandina. Tales pajonales ocupan grandes extensiones ya sea en zonas de planicies o en laderas de suelo pedregosos. Son pastos duros entre la especies más representativas se tienen a: *Festuca orthophylla, Stipa ichu, Stipa rigiseta, Nassella brachyphylla, Calamagrostis vicunarum Muhlenbergia peruviana, Fabiana stephanii*.

Las áreas que mantiene gramíneas perennes son utilizadas para pastoreo temporal durante el corto tiempo de las lluvias. Potencialmente es una zona de vida con muy escaso valor, tanto para la actividad pecuaria como la forestal.

j) Páramo húmedo subalpino subtropical (ph-SaS)

Se ubica en la región latitudinal subtropical, con una superficie de 1 746.41 km², es decir 10,71%. Esta zona de vida se encuentra

colindando con la república de Bolivia y la región Puno y Moquegua, entre los 4000 y 4500 msnm. Se extiende desde las coordenadas 409939 y 8092330 UTM. La zona de vida se enmarca en los distritos de Ilabaya, Cairani, Camilaca, Candarave, Sitajara, Susupaya, Ticaco, Tarata, Tarucachi, Estique.

Se ha estimado que la biotemperatura media anual máxima se encuentra en 11,0 °C (Quebrada Honda), y la biotemperatura media anual mínima 1,3 °C (Vilacota). El promedio de precipitación total por año fluctúa entre 463,0 y 263,0 mm (Vilacota y Quebrada Honda respectivamente), el promedio de evapotranspiración potencial total por año en el páramo húmedo Subalpino Subtropical (ph-SaS), varía entre 0,5 y 1,0 veces la precipitación. A consecuencia de esta relación de evapotranspiración potencial, la zona de vida se ubica en la provincia de humedad: húmedo.

En el páramo húmedo Subalpino Subtropical encontramos especies arbustivas y característico de esta zona de vida son las queñoales, así encontramos a *Polylepis besseri* y *Polylepis tomentella*, forman bosques con especies acompañantes como *Chuquiraga rotundifolia*, *Calceolaria inamoena*, *Bomarea dulcis*,

Baccharis tricuneata, *Parastrephia lepidophylla*, *Diplostephium meyenii*, *Adesmia spinosissima*, *Baccharis incarun*, *Baccharis boliviensis*, *Plantado monticola*, entre otras. Así también encontramos gramíneas, que forman parte de los pastos naturales llamados "pajonales". Debido a su condición climática es una zona con capacidad para la producción de pasto para ganado, por tanto, es un espacio de vida típica y tradicional de actividad ganadera altoandina de la región. El recurso pastos naturales ha sido fuertemente deteriorado por la causa principal del sobrepastoreo.



Figura 29: Vista de Queñoales y yaretales altoandinas

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

k) Tundra húmeda alpino templado cálido (th- ATc)

Se ubica en la región latitudinal Templado cálido, con una superficie de 117,59 km², es decir 0,72%. Esta zona de vida se encuentra rodeada por las zonas de vida matorral desértico

Subalpino Templado cálido (md-SaTc), desierto semiárido Subalpino Templado cálido (dse-SaTc) y la zona Nival Subtropical (NS) entre los 4000 y 5000 msnm. Se extiende desde las coordenadas UTM 412097 y 8046047. La zona de vida se enmarca en el distrito de Palca.

La biotemperatura media anual varía entre 1,5 a 3 °C, y que el promedio de precipitación total por año fluctúa entre 125 y 250 mm. Según el diagrama bioclimático de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año en la tundra húmeda Alpino Templado cálido (th-ATc), varía entre 0,5 y 1,0 veces la precipitación. A consecuencia de esta relación de evapotranspiración potencial, la zona de vida se ubican en la provincia de humedad: HUMEDO.

El relieve topográfico es predominantemente accidentado a colinados, alternando con áreas de topografía relativamente suave. Los suelos son en gran parte dominados por materiales piroclásticos o volcánicos pertenecientes a los andosoles vítricos y páramo

andosoles seguido de litosoles, estos últimos en aquellos lugares donde predomina el suelo delgado rocoso o peñascoso.

Aquí se ubican comunidades vegetales caracterizado por la forma de almohadillas, principalmente por una especie denominada *Azorella compacta* (yareta). Esta comunidad se asocia a los pajonales se encuentran por encima de los 4200 m de altitud.

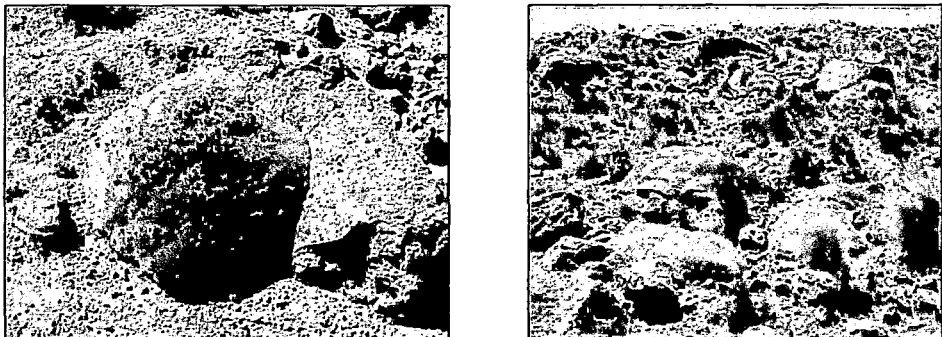


Figura 30: Vista de yaretales con formación de almohadillidos por encima de los 4200 msnm

Fuente: GRRN-GMA-GRT (2009)

En esta zona de vida mantienen una actividad ganadera prácticamente nomádica, en tránsito a otras áreas más productivas. Potencialmente son de muy limitada capacidad para alimentar cualquier clase de ganado doméstico o silvestre.

l) Tundra muy húmeda alpino subtropical (tmh-AS)

Se ubica en la región latitudinal Subtropical, con una superficie de 1 981,73 km², es decir 12,15 %. Esta zona de vida se ubica en los 4000 y 5000 msnm Se extiende desde las coordenadas 363310 y 8121808; 405450 y 8078837; 428080 y 8084044 UTM. La zona de vida se enmarca en los distritos de Camilaca, Cairani, Candarave, Susupaya, Ticaco, Tarata, Tarucachi, Estique, Palca.

La biotemperatura media anual varía entre 1,5 y 3 °C, y que el promedio de precipitación total por año fluctúa entre 375,70 mm. Según el Diagrama bioclimático de Holdridge, el promedio de evapotranspiración potencial total por año en la tundra muy húmeda Alpino Subtropical (tmh-AS), varía entre 0,25 y 0,50 veces la precipitación. A consecuencia de esta relación de evapotranspiración potencial, la zonas de vida se ubican en la provincia de humedad: Perhúmedo.

La configuración topográfica varía entre accidentada a colinada u ondulada. El escenario edáfico está constituido por suelos de textura media a ligeras, mayormente dominados por materiales

piroclásticos, pertenecientes a los andosoles vítricos y páramos andosoles. Presenta formaciones vegetales que se desarrollan a nivel del suelo extendiéndose radialmente dichas formas vegetales se asocian tanto a los yaretales como a los pajonales interactuando entre ellas. Existen pocas zonas con extensiones de estas formas vegetales, entre las especies más representativas se tiene a: *Pycnophyllum molle*, *Werneria sp*, *Azorella compacta* y *Senecio humillimus*. También se encuentran especies cerca de la zona subnival, entre estas tenemos: *Nototriche argentea*, *Nototriche foetida*, *Nototriche alternata*, *Astragalus peruvianus*, *Xenophyllum lycopodioides* y *Xenophyllum poposum*. La vegetación es escasa, mantienen una actividad ganadera lanar.

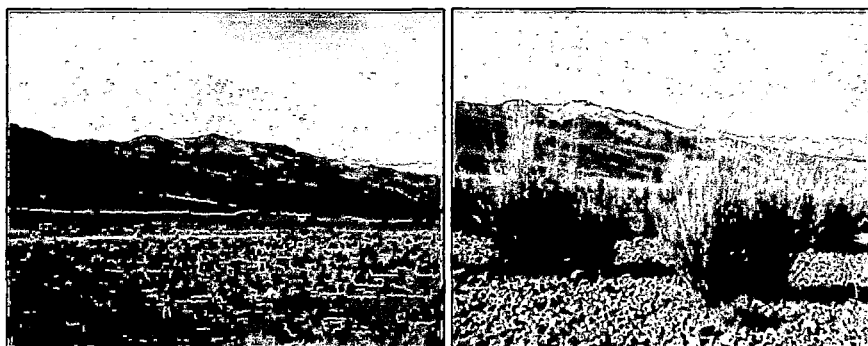


Figura 31: Vista de pajonales camino a Calientes a 4260 msnm

Fuente: GRRN-GMA-GRT, (2009)

m) Nival subtropical (NS)

La zona de vida Nival abarca totalmente el piso Nival. Se extiende sobre las zonas más elevadas y frías cumbres de la cordillera altoandina.

Se distribuye en la Región latitudinal Subtropical, con una extensión total de 517,04 km², es decir 3,17%. Esta formación se encuentra por encima de los 5000 msnm, en la zona oriental de la región. La zona de vida Nival Subtropical se encuentra conexas y rodeada por la zona de vida tundra muy húmeda Alpino Subtropical (tmh-AS). Se extiende desde las coordenadas 355472 y 8116633; 378107 y 8116468; 411745 y 8065457 UTM.

La zona de vida se enmarca en los distritos de Camilaca, Cairani, Candarave, Susupaya, Ticaco, Tarata, Tarucachi, Estique, Palca.

La biotemperatura media anual es siempre cercana o abajo del punto de congelación del agua. Existe localmente verdaderas condiciones desérticas que pueden ser húmedas o secas, la precipitación se produce en todos los casos en forma de nieve y la

tierra siempre que contenga humedad, quede helada, mientras que el frío aún el del día es tan intenso y continuado que impide el establecimiento de comunidades vegetales de significación. La configuración toposiográfica es abrupta y constituida por suelos netamente líticos, peñascosos o rocosos; prácticamente no existe cubierta edáfica, salvo en áreas muy reducidas y de escaso interés.

Las únicas formas de vidas observables son escasas algas sobre la nieve y cercanos al límite inferior del piso se encuentra diminutos líquenes crustáceos sobre rocas de color oscuro en donde debido al viento no se acumula la nieve. En esta zona de vida no se encuentra ninguna comunidad biológica visible, sea vegetal o animal.

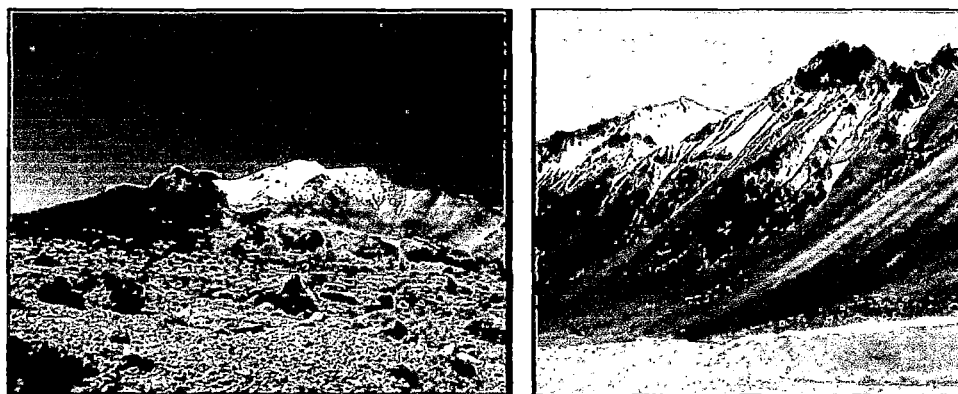


Figura 32: Zonas desérticas de la cordillera del Barroso

Fuente: GRRN-GMA-GRT, (2009)

Cuadro 19

Superficie de las trece zonas de vida de la región Tacna, y su altura respecto al nivel del mar

ZONAS DE VIDA	SUPERFICIE		(msnm)
	Km ²	% respecto al área regional	
Desierto Desecado – Templado Cálido (dd-Tc)	4 392,28	26,92	0-1600
Desierto Superárido-Templado Cálido (ds-Tc)	3 523,49	21,60	1600-2400
Desierto Perárido-Templado Cálido (dp-Tc)	1 071,85	6,57	2400-2800
Desierto Perárido-Montano Templado Cálido (dp-MTc)	66,94	0,41	2600-3400
Matorral Desértico Templado Cálido (md-Tc)	229,20	1,40	50-900
Desierto Arido Montano Templado Cálido (da-MTc)	1 233,68	7,56	2800-3200
Matorral Desértico Montano Templado Cálido (md-MTc)	624,81	3,83	3200-3800
Desierto Semiárido Sub Alpino Templado Cálido (dse-SaT)	341,60	2,09	3200-4000
Matorral Desértico Subalpino Templado Cálido (md-SaTc)	466,62	2,86	3800-4000
Paramo Humedo Subalpino Subtropical (ph-SaS)	1 746,41	10,71	4000-4500
Tundra Húmeda Alpino Templado Calido (th-ATc)	117,59	0,72	4000-5000
Tundra Muy Húmeda Alpino Subtropical (tmh-AS)	1 981,73	12,15	4000-5000
Nival Subtropical (NS)	517,04	3,17	> 5000
TOTAL	16 313,22	100,00	

Fuente: Elaboración propia (2012)

A pesar de que está enteramente desprovisto de valor actual o potencial para una explotación agropecuaria o forestal, esta zona de vida tiene importancia singular con respecto a la agricultura y al establecimiento humano en las tierras bajas debido a sus características especiales de hidrografía.

De los muchos ríos cuyas aguas son vitales a las poblaciones y actividades económicas de las zonas áridas y semiáridas de la costa y sierra, un gran número tiene en su origen principal en los límites inferiores de esta zona de vida, o en sus vecindades.

La zona de vida Nival Subtropical representa áreas escénicamente atractivas para el desarrollo del turismo, en el que se incluye el andinismo. En el cuadro 19 se indica cada una de las zonas de vida de la región Tacna con sus respectivas áreas y el porcentaje respecto al área total regional.

4.2 Potencial energético solar en la región tacna

4.2.1 Heliofonía, e irradiancia solar promedio mensual por estación de registro

En los siguientes cuadros de valores y gráficos correspondientes, se especifican los valores de las horas de sol por día (heliofonía) en valores promedios mensuales y anuales, para el periodo 2002-2006 al 2011, para ocho estaciones de registro: Tarata, Candarave, Tacna, Calana, Chuapalca, Ite, y Vilacota, proporcionados por el Senamhi Tacna, igualmente los valores de la irradiancia solar global en promedios mensuales, anuales y diarios para los años 1985, 1995, 2010 y 2011, sobre una superficie horizontal registradas con la estación meteorológica del CERT de la UNJBG ubicada en la ciudad Universitaria (Polo B., 2010)

Bajo el desarrollo matemático y estadístico correspondiente se determina la energía solar incidente sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día, que constituye el denominado potencial energético solar de la región Tacna.

En el cuadro 20 se muestran los promedios mensuales de heliofonía para las estaciones y periodos indicados.

Cuadro 20

Promedios mensuales de heliofonía para el periodo 2002-2006 al 2011 por cada estación de registro

LUGAR	HELIOFONÍA (HORAS DE SOL/DÍA)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
TARATA	7,3	6,2	7,7	9,5	9,7	9,8	9,9	10,6	10,1	10,5	10,1	8,1
CANDARAVE	5,4	4,9	8,9	9,7	10,2	9,0	9,9	10,5	10,6	10,2	10,2	8,6
TACNA	8,5	8,1	8,4	7,5	6,5	6,0	5,6	6,0	6,6	8,0	8,5	8,6
LOCUMBA	8,2	7,8	8,8	7,8	7,6	7,1	7,4	8,2	8,1	9,0	9,4	8,2
CALANA	8,2	8,3	8,9	8,1	8,1	7,1	7,8	7,7	7,6	9,1	9,2	8,4
CHUAPALCA	6,0	6,2	6,7	8,0	9,1	9,5	9,6	10,0	9,6	9,5	8,7	6,7
ITE	7,7	8,3	8,4	7,2	5,2	3,5	3,0	2,7	2,5	4,2	5,3	6,6
VILACOTA	6,0	5,8	6,3	7,5	8,4	8,7	8,8	9,1	8,6	9,2	8,7	6,7

Fuente: Senamhi Tacna (2012)

En el cuadro 21, se especifican los valores de la irradiancia solar global sobre superficie horizontal (H), para el periodo 2002-2006 al 2011, en cada lugar de registro del Senamhi Tacna. Estos valores se han obtenidos sobre la base de los datos de heliofonía (n), y con ayuda de la ecuación de Ångström-Prescott (2.8), se ha considerado como constantes $a = 0,593$, $b = 0,181$; para lugares ubicados en la costa y $a = 0,367$, $b = 0,396$, para lugares ubicados en la sierra del cuadro 3; igualmente los valores promedios mensuales de la radiación solar extraterrestre (H_0) en W/m^2 correspondiente a la latitud sur de cada lugar de registro del cuadro 22, así como también los datos de la duración astronómica del día para una fecha del año y latitud específica (N), detallados en el cuadro 41 del anexo.

El gráfico con las curvas de variaciones de la irradiancia solar global en promedios anuales y mensuales para el periodo 2002-2006 al 2011, en función de los meses del año se muestran en el gráfico 33; y para la radiación extraterrestre en el 34.

Cuadro 21

Promedios mensuales de irradiancia solar global, para el periodo 2002-2006 al 2011, para cada lugar de registro del SENAMHI en la región Tacna

Estación	Irradiancia solar global (W/m ²)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
TARATA	271	254	264	266	242	229	238	270	289	312	310	282
CANDARAVE	244	236	281	268	248	220	238	268	296	308	311	289
TACNA	328	281	274	240	203	186	188	211	241	277	288	289
LOCUMBA	326	277	280	244	217	198	209	239	262	291	300	283
CALANA	326	284	281	248	223	198	214	233	255	292	297	286
CHUAPALCA	253	254	251	246	235	225	235	262	282	298	290	262
ITE	322	284	274	236	188	157	157	169	185	223	243	261
VILACOTA	253	248	245	240	226	216	225	250	269	294	290	262

Fuente: Elaboración propia (2012)

Estos valores se han obtenidas con las ecuaciones de Ångström-Prescott :

$$H/H_o = 0,593 + 0,181 (n/N), \text{ para estaciones en zona de Costa}$$

$$H/H_o = 0,367 + 0,396 (n/N), \text{ para estaciones en zona de Sierra}$$

Cuadro 22

Radiación solar extraterrestre anual en valores mensuales promedios (W/m^2), para el hemisferio sur, latitudes de 15° a 32°

RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE (W/m^2)												
LAT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
15°	458	455	436	399	359	338	348	383	423	449	458	457
18°	463	455	430	388	343	321	332	370	414	448	462	464
19°	464	455	428	384	338	315	327	365	411	447	462	466
20°	466	455	431	379	333	309	321	360	409	446	462	467
21°	467	455	424	375	327	303	315	356	406	445	464	469
22°	468	455	422	371	322	297	309	351	402	444	464	470
23°	469	454	419	367	316	291	304	346	399	442	465	472
24°	470	453	416	362	310	285	298	341	395	441	465	473
25°	471	453	413	358	305	279	292	336	392	439	465	474
26°	471	452	411	353	299	273	286	330	388	437	465	475
27°	472	450	407	348	293	266	279	325	384	435	465	476
28°	472	449	404	342	287	259	273	320	380	433	465	477
29°	472	448	401	338	281	253	267	314	376	431	465	478
30°	472	446	397	332	274	247	260	308	372	429	464	478
31°	472	445	393	327	268	240	254	303	367	427	464	479
32°	472	444	390	321	262	234	248	297	363	424	463	479
33°	472	442	386	316	256	227	241	291	358	422	462	479

Fuente: Elaboración propia (2012)

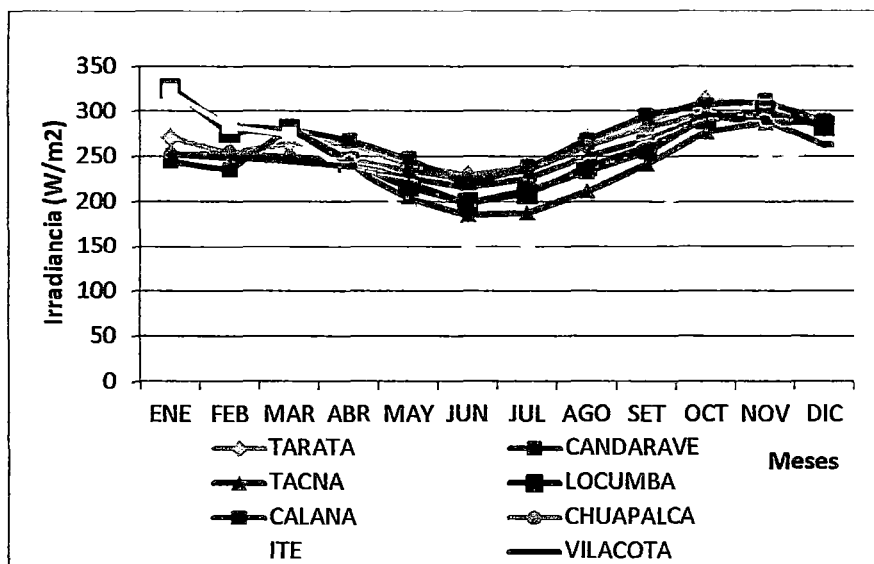


Figura 33: Promedios mensuales de irradiancia solar global en W/m^2 , periodo 2002-2006 al 2011 para cada estación de registro del SENAMHI en la región Tacna

Fuente: Elaboración propia (2012)

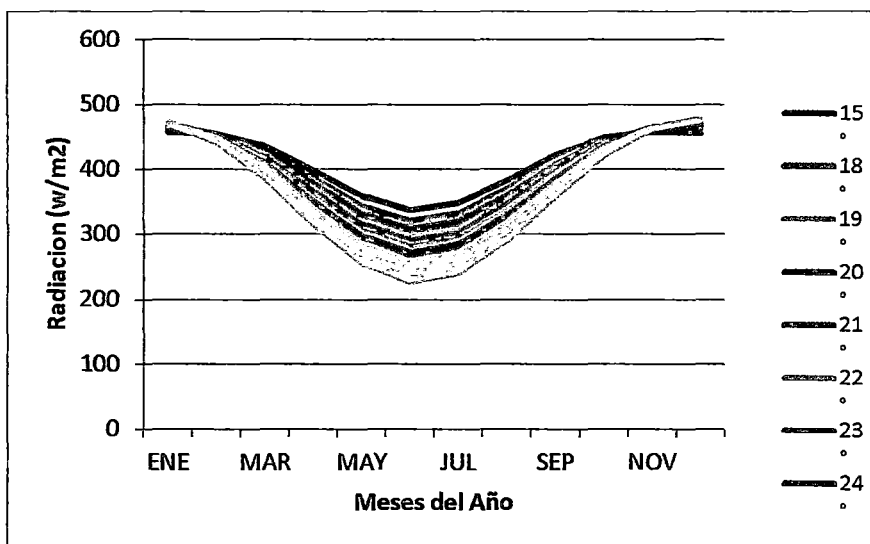


Figura 34: Variación de la radiación solar extra terrestre en promedio mensual para el hemisferio Sur, para latitudes entre 15° y 32°

Fuente: Elaboración propia (2012)

4.2.2 Heliofonía, e irradiancia promedio mensual en cada provincia de la región Tacna

En el cuadro 23, se muestran los valores de heliofonía en valores promedios mensuales y anuales correspondiente al periodo 2002-2006 al 2011, en cada una de las provincias de la región Tacna: Tarata, Candarave, Tacna, y Jorge Basadre, considerando los lugares de registro del Senamhi Tacna

Cuadro 23:

Promedios mensuales de heliofonía (horas de sol / día), periodo 2002-2006 al 2011, para cada provincia de la región Tacna

PROVINCIA	HELIOFONÍA MENSUAL											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
TARATA	6,4	6,1	6,9	8,3	9,1	9,4	9,4	9,9	9,4	9,7	9,2	7,2
CANDARA VE	5,4	4,9	8,9	9,7	10,2	9,0	9,9	10,5	10,6	10,2	10,2	8,6
TACNA	8,4	8,2	8,7	7,8	7,3	6,6	6,7	7,1	7,1	8,6	8,9	8,5
LOCUMBA	8,2	7,8	8,8	7,8	7,6	7,1	7,4	8,2	8,1	9,0	9,4	8,2

Fuente: Elaboración propia (2012)

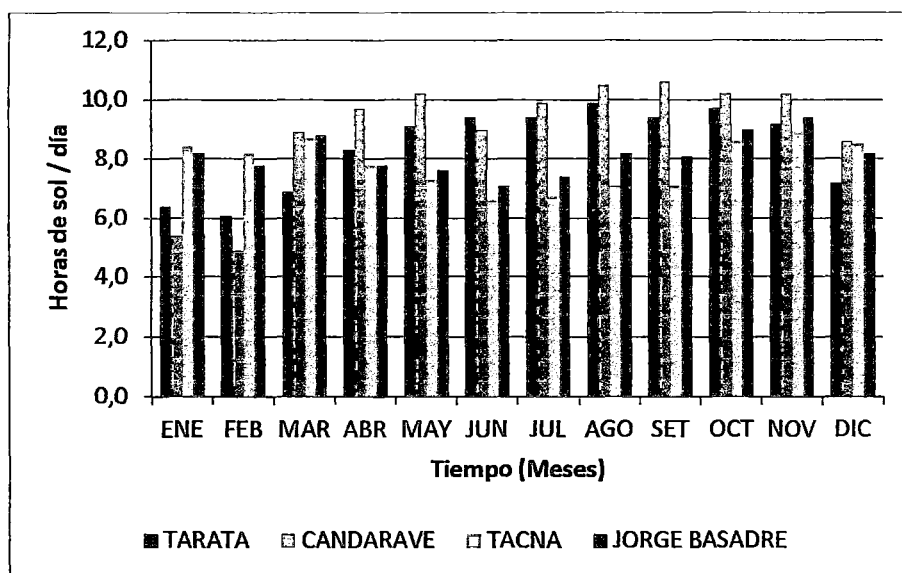


Figura 35: Heliophonía en promedios mensuales para el periodo 2002 - 2006 al 2011, para cada provincia de la región Tacna

Fuente: Elaboración propia (2012)

en la figura 35 se muestran las variaciones mensuales a lo largo del año. En el cuadro 24 se especifican los valores de la irradiación solar global en W/m^2 sobre una superficie horizontal, en promedios mensuales y anualizados al periodo 2002-2006 al 2011, para las cuatro provincias de la región Tacna, obtenidos con la ecuación 2.8 sobre la base de datos de heliophonía especificados en el cuadro 24.

En el gráfico 36 se muestra las variaciones de la irradiación solar global sobre una superficie horizontal en valores promedios mensuales, durante el año.

Cuadro 24

Promedios mensuales de irradiancia solar global (W/m^2), anualizadas al periodo 2002-2006 al 2011, para cada provincia de la región Tacna

Provincia	IRRADIANCIA SOLAR GLOBAL (W/m^2)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
TARATA	259	252	253	251	234	224	233	261	280	301	297	269
CANDARAVE	244	236	281	268	248	220	238	268	296	308	311	289
TACNA	327	282	278	244	213	192	201	222	248	285	293	287
JORGE BASADRE	324	280	277	240	202	178	183	204	224	257	272	272

Fuente: Elaboración propia (2012)

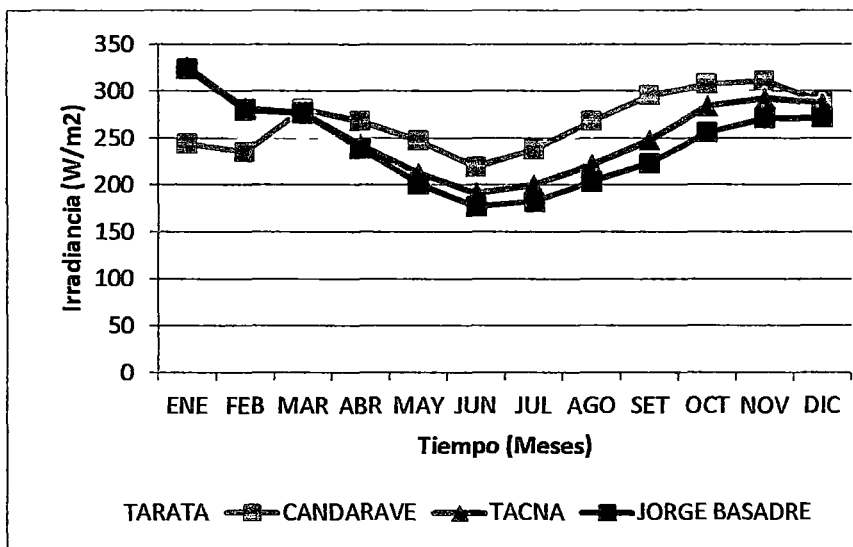


Figura 36: Variación de promedios mensuales de la irradiancia solar, periodo 2002-2006 al 2011, para cada provincia de la región

Fuente: Elaboración propia (2012)

4.2.3 Heliofonía e irradiancia solar promedio mensual para registros en lugares de la sierra y costa de la región Tacna

En el cuadro 25 se muestran los datos del registro de heliofonía en promedio mensual anualizadas al periodo 2002-2006 al 2011, correspondientes a los lugares de registro ubicados en las zonas de costa: Ite, Tacna, Locumba, y Calana; y sierra: Tarata, Candarave, Vilacota, y Chuapalca de la región Tacna, proporcionados por el Senamhi Tacna.

En la figura 37 se muestra las variaciones anuales de la heliofonía en promedios mensuales anualizadas al periodo 2002-2006 al 2011, para la zona de costa y sierra de la región Tacna.

En el cuadro 26 se muestran los valores promedios de la irradiancia solar global en W/m^2 incidente sobre una superficie horizontal, obtenidos con la ecuación (2.8) de Ångström-Prescott y los datos de heliofonía correspondientes, anualizadas al periodo 2002-2006 al 2011, para la zona de costa y sierra de la región Tacna.

Cuadro 25

Promedios mensuales de heliofonía: periodo 2002-2006 al 2011, para zonas de la costa y sierra de la región

LUGAR	HELIOFONÍA PROMEDIO MENSUAL											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ESTACIONES UBICADAS EN LA ZONA SIERRA DE LA REGIÓN TACNA												
TARATA	7,3	6,2	7,7	9,5	9,7	9,8	9,9	10,6	10,1	10,5	10,1	8,1
CANDARAVE	5,4	4,9	8,9	9,7	10,2	9,0	9,9	10,5	10,6	10,2	10,2	8,6
CHUAPALCA	6,0	6,2	6,7	8,0	9,1	9,5	9,6	10,0	9,6	9,5	8,7	6,7
VILACOTA	6,0	5,8	6,3	7,5	8,4	8,7	8,8	9,1	8,6	9,2	8,7	6,7
PROMEDIO	6,2	5,8	7,4	8,7	9,4	9,3	9,6	10,1	9,7	9,9	9,4	7,5
ESTACIONES UBICADAS EN LA ZONA COSTA DE LA REGIÓN TACNA												
TACNA	8,5	8,1	8,4	7,5	6,5	6,0	5,6	6,0	6,6	8,0	8,5	8,6
LOCUMBA	8,2	7,8	8,8	7,8	7,6	7,1	7,4	8,2	8,1	9,0	9,4	8,2
ITE	7,7	8,3	8,4	7,2	5,2	3,5	3,0	2,7	2,5	4,2	5,3	6,6
CALANA	8,2	8,3	8,9	8,1	8,1	7,1	7,8	7,7	7,6	9,1	9,2	8,4
PROMEDIO	8,2	8,1	8,6	7,7	6,9	5,9	6,0	6,2	6,2	7,6	8,1	8,0

Fuente: Senamhi Tacna (2012)

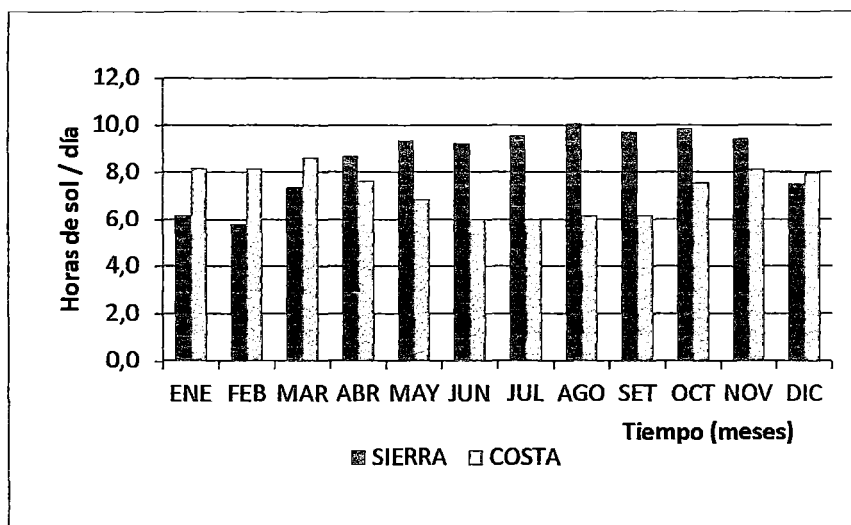


Figura 37: Heliofonía en promedios mensuales para el periodo 2002-2006 al 2011 para la zona de costa y sierra de la región Tacna
Fuente: Elaboración propia (2012)

Cuadro 26:
Valores de la irradiancia solar global, periodo 2002-2006 al 2011 para lugares en la costa y en la sierra de la región Tacna

LUGARES	IRRADIANCIA SOLAR GLOBAL (W/m ²)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
LUGARES UBICADOS EN LA SIERRA DE LA REGIÓN TACNA												
TARATA	271	254	264	266	242	229	238	270	289	312	310	282
CANDARAVE	244	236	281	268	248	220	238	268	296	308	311	289
CHUAPALCA	253	254	251	246	235	225	235	262	282	298	290	262
VILACOTA	253	248	245	240	226	216	225	250	269	294	290	262
PROMEDIO	255	248	260	255	238	223	234	263	284	303	301	274
LUGARES UBICADOS EN LA COSTA DE LA REGIÓN TACNA												
TACNA	328	281	274	240	203	186	188	211	241	277	288	289
LOCUMBA	326	277	280	244	217	198	209	239	262	291	300	283
ITE	322	284	274	236	188	157	157	169	185	223	243	261
CALANA	326	284	281	248	223	198	214	233	255	292	297	286
PROMEDIO	325	281	277	242	208	185	192	213	236	271	282	280

Fuente: Elaboración propia (2012)

En el gráfico 38 se muestran las curvas de los promedios de la irradiancia solar global sobre superficie horizontal a lo largo de los meses del año, anualizadas al periodo 2002-2006 al 2011, para la zona de costa y sierra de la región Tacna, obtenidas con los datos del cuadro 25.

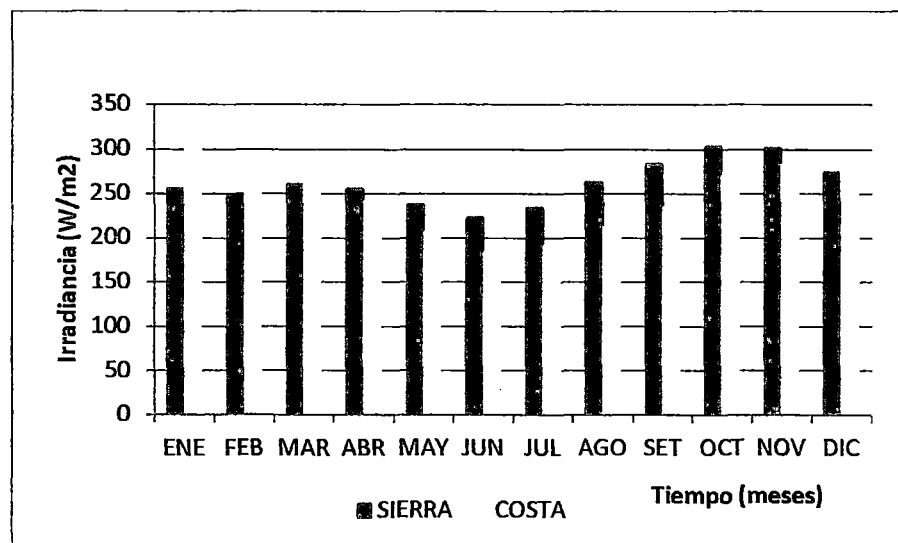


Figura 38: Variación de los promedios mensuales de irradiancia solar global, periodo 2002-2006 al 2011, para la zona de costa y sierra de la región Tacna

Fuente: Elaboración propia (2012)

4.2.4 Irradiancia solar global promedio mensual y anual en la ciudad de Tacna

En el cuadro 27 se listan los valores de la irradiancia solar global en valores promedios mensuales en W/m^2 , sobre superficie

horizontal, para la ciudad de Tacna, registradas por el solarímetro Fotovoltaico de la estación meteorológica HOBO del CERT – UNJBG, específicamente para los años 2010 y 2011.

En la figura 39, se muestra la variación anual de la irradiancia solar global en promedios mensuales para los años 2010 y 2011 incidente sobre una superficie horizontal, referentes a los valores especificados en el cuadro 27.

En la figura 40, se presenta la variación mensual de la irradiancia solar sobre superficie horizontal, para valores promedios diarios, para enero como el mejor mes del año, y para Junio como el mes de menor irradiancia solar del año 2010. En la figura 41 se muestra la variación diaria en valores promedios horarios de la irradiancia solar global correspondientes al día 03 de Enero, y 28 de junio del 2010, como el mejor día y el día de menor irradiancia incidente sobre superficie horizontal para la ciudad de Tacna, con datos registrados en el CERT.

Cuadro 27:

Promedios mensuales de irradiancia solar global (W/m^2) sobre una superficie horizontal, años 2010, y 2011, estación CERT, para la ciudad de Tacna

Mes	IRRADIANCIA SOLAR (W/m^2)	
	AÑO	
	2010	2011
Enero	292,13	292,57
Febrero	275,77	297,49
Marzo	277,55	293,67
Abril	221,77	230,41
Mayo	210,57	187,78
Junio	162,00	152,73
Julio	145,39	149,90
Agosto	194,99	177,50
Septiembre	198,41	214,35
Octubre	261,29	242,20
Noviembre	272,70	265,89
Diciembre	286,07	304,16
Total	2798,62	2808,63
Promedio	233,22	234,05

Fuente: Elaboración propia (2012)

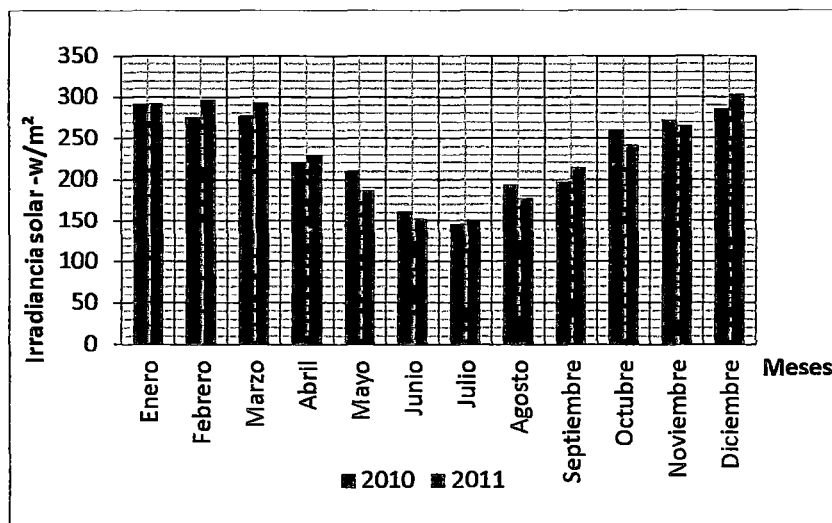


Figura 39: Variación de la Irradiancia solar global en promedios mensuales para los años 2010 y 2011 para la ciudad de Tacna
 Fuente: Elaboración propia (2012)

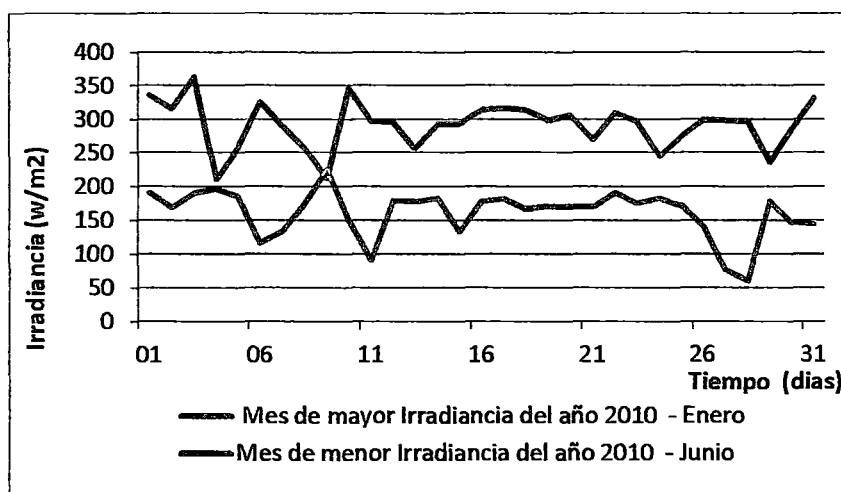


Figura 40: Variación diaria para los meses de mayor y menor de la irradiancia solar global, en promedios diarios para el año 2010 en la ciudad de Tacna
 Fuente: Elaboración propia (2012)

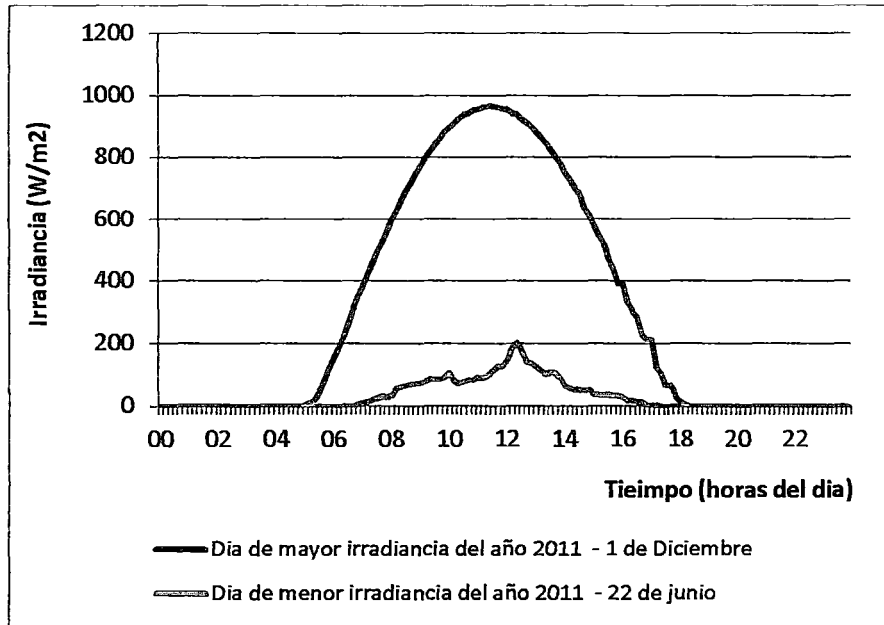


Figura 41: Variación horaria de la irradiancia solar global, para el mejor (01 diciembre) y día mas bajo (22 de junio) del año 2011, en la ciudad de Tacna

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la figura 42 se observa la variación mensual de la irradiancia solar global en promedios diarios en la ciudad de Tacna; para el mes de más alta de irradiancia solar, correspondiente a diciembre del año 2011. En la figura 43, se observa la variación mensual de la irradiancia solar global en promedios diarios en la ciudad de Tacna, para el mes más bajo irradiancia solar, correspondiente a junio del año 2011.

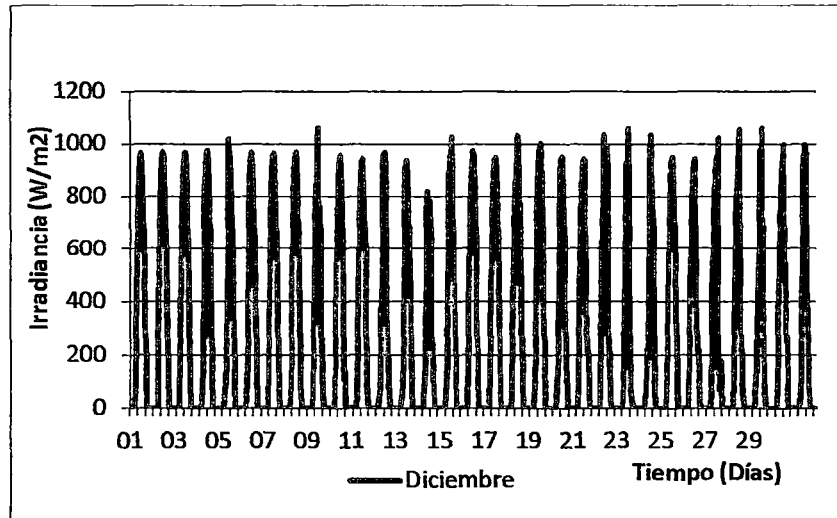


Figura 42: Variación de la irradiancia solar global en promedios diarios, mes de mejor irradiancia solar: diciembre del año 2011 en la ciudad de Tacna
Fuente: Elaboración propia (2012)

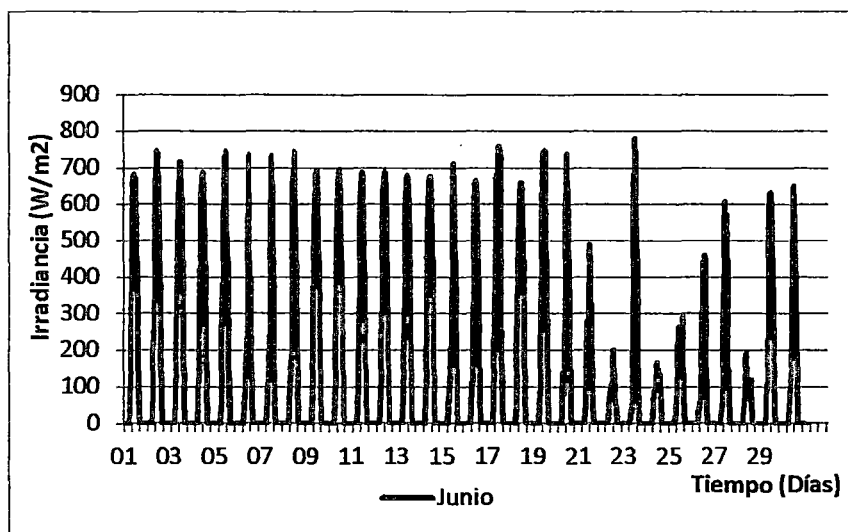


Figura 43: Variación de la irradiancia solar global en promedios diarios, mes más bajo de irradiancia solar: junio del año 2011 en la ciudad de Tacna
Fuente: Elaboración propia (2012)

4.2.5 Energía solar global en promedios estacionales en cada provincia de la región Tacna

En el cuadro 28 se plasman los valores de la energía solar incidente en Kilo-Watts-hora (kWh) sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado en un día ($\text{kWh/m}^2\text{día}$), en valores promedios para cada estación del año, clasificadas de la forma siguiente; Verano: meses de enero, febrero, marzo; Otoño: meses de abril, mayo, junio; Invierno: meses de julio, agosto setiembre; y Primavera: meses de octubre, noviembre y diciembre; obtenidas sobre los dos tipos de datos registrados, los correspondientes a Heliofonía, y su consiguiente irradiancia solar global; y los de irradiancia registrados directamente con la estación meteorológica del CERT.

En la figura 44 se muestra la variación de la energía solar incidente sobre una superficie horizontal en cada provincia de la región para cada estación del año.

Cuadro 28

Energía solar global estacional sobre superficie horizontal en kWh/m²día, en cada una de las provincias de la región Tacna, para el periodo 2002-2006 al 2011

Provincia	Energía promedio estacional (kWh/m ² .día)			
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
TARATA	6,11	5,67	6,19	6,94
CANDARAVE	6,09	5,89	6,42	7,26
TACNA	7,09	5,19	5,37	6,92
JORGE BASADRE	7,05	4,96	4,89	6,41

Fuente: Elaboración propia (2012)

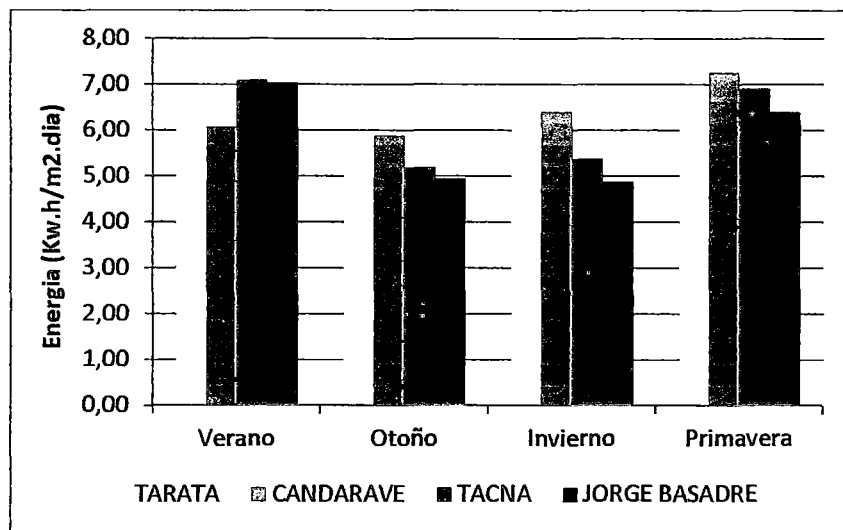


Figura 44: Variación estacional de la energía solar global sobre superficie horizontal en las cuatro provincias de la Región Tacna

Fuente: Elaboración propia (2012)

4.2.6 Potencial energético solar global en promedios mensuales y anuales para cada lugar de registro del Senamhi Tacna

En el cuadro 29 se lustran los valores de la energía solar global sobre una superficie horizontal para el periodo 2002-2006 al 2011, en promedios mensuales, y el promedio anualizado en cada lugar o estación de registro del Senamhi Tacna, tales valores se han obtenido sobre la base de los datos de irradiancia solar global calculados con datos de heliofonía correspondientes.

Cuadro 29

Valores de la energía solar global promedio sobre superficie horizontal, periodo 2002-2006 al 2011, en cada lugar de registro del Senamhi Tacna

Estación	Energía solar promedio (kWh/m ² día)												Prom
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
TARATA	6,5	6,1	6,3	6,4	5,8	5,5	5,7	6,5	6,9	7,5	7,4	6,8	6,5
CANDARAVE	5,9	5,7	6,7	6,4	5,9	5,3	5,7	6,4	7,1	7,4	7,5	6,9	6,4
TACNA	7,9	6,7	6,6	5,8	4,9	4,5	4,5	5,1	5,8	6,6	6,9	6,9	6,0
LOCUMBA	7,8	6,6	6,7	5,8	5,2	4,8	5,0	5,7	6,3	7,0	7,2	6,8	6,2
CALANA	7,8	6,8	6,7	5,9	5,3	4,8	5,1	5,6	6,1	7,0	7,1	6,9	6,3
CHUAPALCA	6,1	6,1	6,0	5,9	5,6	5,4	5,6	6,3	6,8	7,2	7,0	6,3	6,2
ITE	7,7	6,8	6,6	5,7	4,5	3,8	3,8	4,1	4,5	5,4	5,8	6,3	5,4
VILACOTA	6,1	6,0	5,9	5,8	5,4	5,2	5,4	6,0	6,4	7,0	7,0	6,3	6,0

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la figura 45 se muestra la variación mensual de la energía solar global en kWh/m²día para el periodo 2002-2006 al 2011 para cada lugar de registro del Senamhi Tacna.

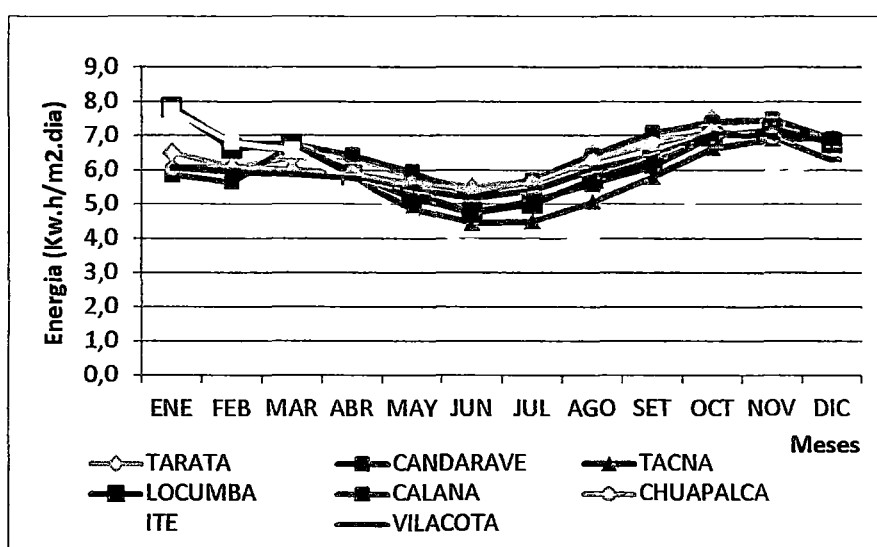


Figura 45: Variación mensual de la energía solar global para cada lugar de registro del Senamhi Tacna, periodo 2002-2006 al 2011
Fuente: Elaboración propia (2012)

4.2.7 Potencial energético solar global en promedios mensuales y anuales para la ciudad de Tacna

En el cuadro 30 se plasman los valores de la energía solar incidente en Kilo-Watts-hora sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado en un día (kWh/m²día), en promedios mensuales para los años 1985, 1995, 2010 y 2011 para la ciudad de Tacna, los

cuales se han obtenido sobre la base de datos de irradiancia solar global sobre superficie horizontal registrados en la estación del CERT.

Cuadro 30

Datos promedios mensuales de energía solar global (kWh/m²día) sobre superficie horizontal, años 1986, 1995, 2010, y 2011, ciudad de Tacna; y de la temperatura ambiente (Tamb)

ESTACION: CERT-UNJBG . **LATITUD:** -18° 01' 36'' **DPTO:** TACNA
LONGITUD: 70° 15' 2,4'' **PROV:** TACNA **ALTITUD:** 560msnm
DISTRITO: TACNA **PARAMETRO:** Energía solar global

MES	AÑOS				ENERGÍA PROMEDIO	Tamb (°C)
	1986	1995	2010	2011		
ENE	6,9	7,15	7,01	7,02	7,02	22,1
FEB	7,0	6,55	6,62	7,14	6,83	22,6
MAR	6,2	6,46	6,66	7,05	6,59	21,7
ABR	5,2	5,24	5,32	5,53	5,32	19,1
MAY	4,7	4,63	5,05	4,51	4,72	17,7
JUN	3,9	4,05	3,89	3,67	3,88	15,8
JUL	4,4	4,10	3,49	3,60	3,90	13,3
AGO	4,3	4,57	4,68	4,26	4,45	12,0
SET	5,4	5,64	4,76	5,14	5,24	15,5
OCT	6,7	6,42	6,27	5,81	6,30	17,2
NOV	7,1	6,72	6,54	6,38	6,69	19,2
DIC	6,5	7,45	6,87	7,30	7,03	21,0
PROMEDIO ANUAL	5,69	5,75	5,60	5,62	5,67	18,1

Fuente: Elaboración propia (2012)

Así mismo en la última fila del cuadro indicado se registran datos promedios mensuales de la temperatura ambiental de la ciudad de Tacna en grados centígrados (°C), registrada en el CERT, correspondiente al promedio del periodo indicado.

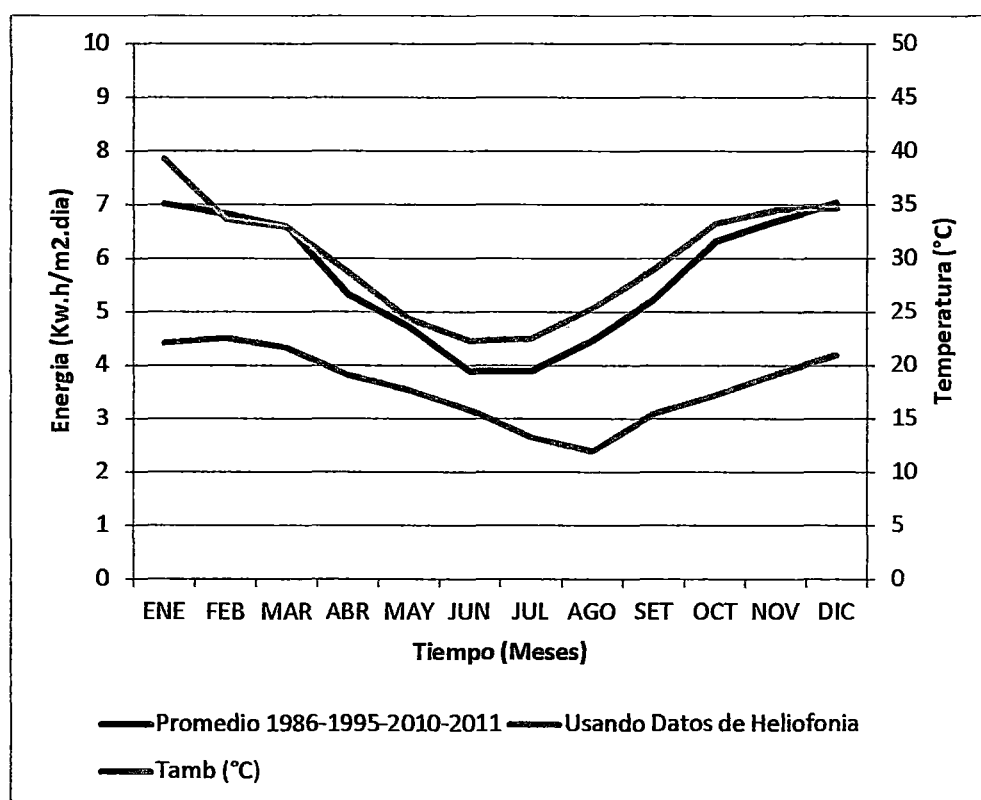


Figura 46: Variación anual de la energía solar global para la ciudad de Tacna, con registros del CERT, con datos de heliofonia del Senamhi, y la temperatura ambiente

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la figura 46 se muestra comparativamente las variaciones de la energía solar incidente en promedios mensuales en función a los meses del año, correspondientes a la ciudad de Tacna, con información básica registrada por la estación del CERT; y los obtenidos con registro de heliofonía, como también de la variación anual de la temperatura ambiente; en la figura 47 se muestra la variación de la energía mensual para los años 1985, 1995, 2010 y 2011.

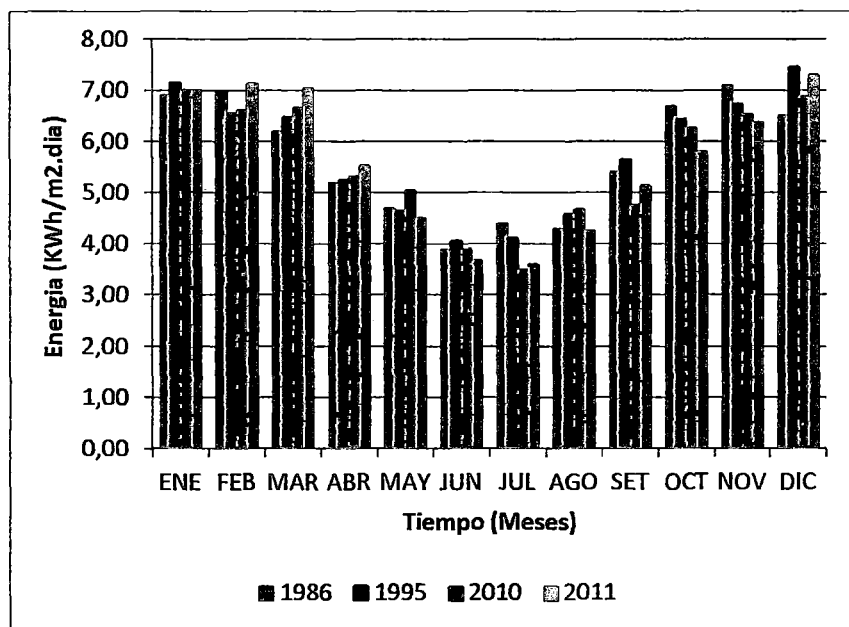


Figura 47: Variación mensual y anual de la energía solar global para la ciudad de Tacna, obtenida con registros de la estación CERT para años 1986, 1995, 2010, 2011

Fuente: Elaboración propia (2012)

4.2.8 Energía solar global en promedios estacionales para la ciudad de Tacna

En la figura 48 se muestra la distribución porcentual de la energía solar global incidente sobre una superficie horizontal, para las cuatro estaciones del año: Verano: meses de enero, febrero, marzo; Otoño: abril, mayo, junio; Invierno: julio, agosto, setiembre; y Primavera: octubre, noviembre, diciembre, en valores promedios correspondiente a los años 1985, 1995, 2010, y 2011 de registro de datos irradiancia solar con la estación meteorológica del CERT.

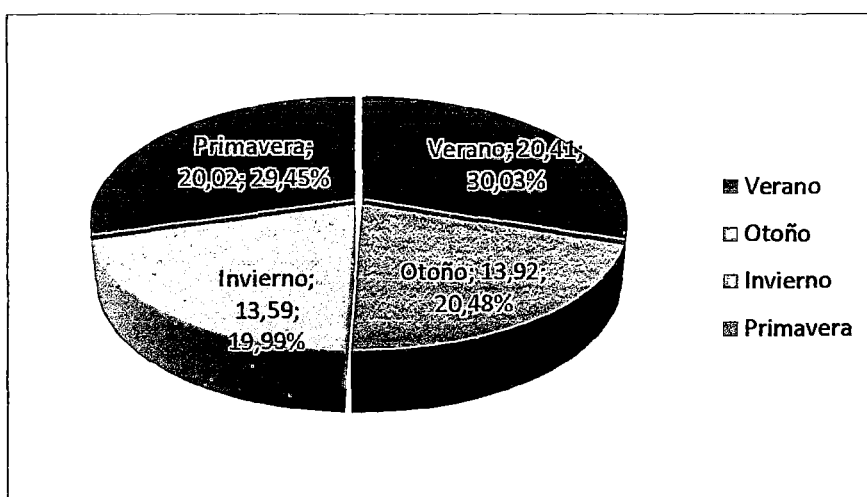


Figura 48: Distribución porcentual de la energía solar incidente para años 1986,1995, 2010, y 2011, estación CERT, para la ciudad de Tacna

Fuente: Elaboración propia (2012)

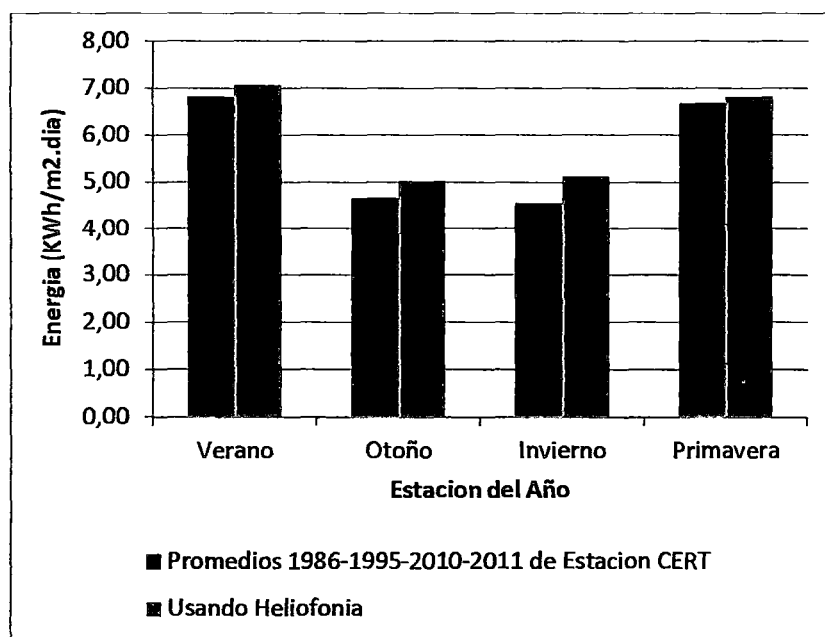


Figura 49: Variación comparativa de la energía solar global en kWh/m²día, entre la registrada por la estación CERT y la obtenida con heliofonía del Senamhi para ciudad de Tacna

Fuente: Elaboración propia (2012)

En la figura 49 se muestra la variación estacional y la diferencia de la energía solar global en kWh/m²día en promedios anualizados sobre una superficie horizontal para la ciudad de Tacna, obtenidas por dos métodos experimentales diferentes, uno referente al registro de heliofonía para el periodo 2002-2006 al 2011 en la estación de la ciudad de Tacna proporcionados por el Senamhi, y el otro a través de los registros directos de irradiancia solar obtenidos en la estación

meteorológica del CERT en los años 1985, 1995, 2010 y 2011 en la misma ciudad de Tacna, ambas mediciones se han realizado simultáneamente en el mismo lugar.

4.2.9 Mapa de energía solar en promedio anual para la región Tacna, periodo 1975 – 1990

En la figura 51, se muestra el mapa solar en promedio anual de la energía solar global en kWh/m²día, sobre una superficie horizontal en código de colores especificados en la figura 50, cada color representa un rango de energía de 0,5 kWh/m², para la región Tacna, con sus cuatro provincias y 27 distritos.

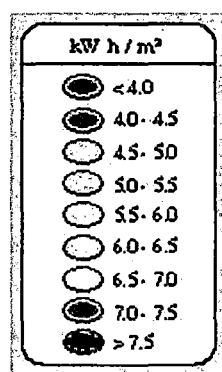


Figura 50: Código de colores utilizado en los mapas solares de la Región Tacna

Fuente: SENAMHI, DEP-MEM (2002)

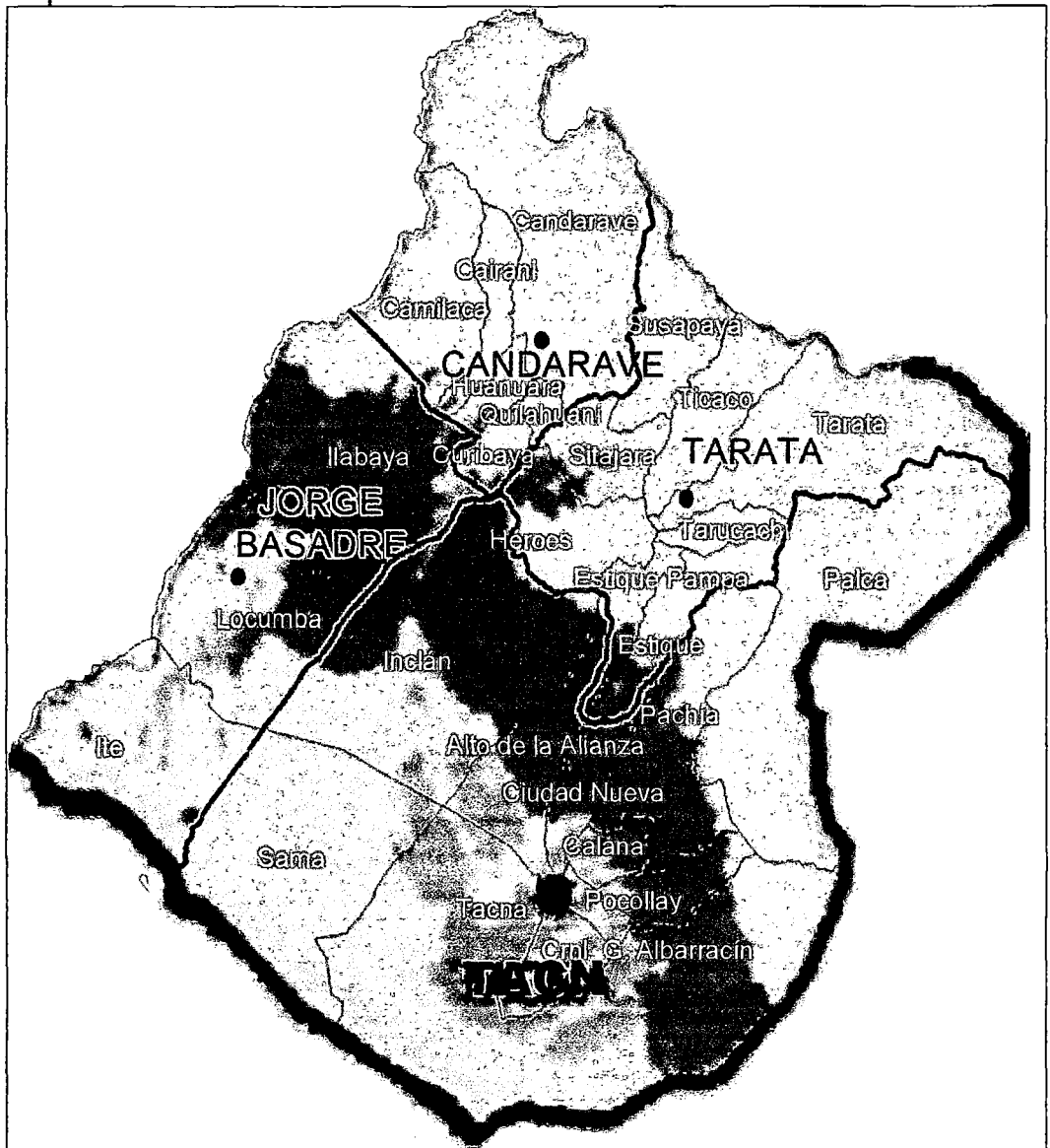


Figura 51: Mapa de la energía solar global en promedio anual en la región Tacna, sobre superficie horizontal para el periodo 1975-1990

Fuente: SENAMHI, DEP-MEM (2002)-Elaboración Propia (2012)

En la figura 50, se muestra el código de colores utilizado para la lectura del mapa solar. La figura 51 se han trabajado sobre la información publicada en el Atlas solar del Perú, publicado el 2002 por el Ministerio de Energías y Minas del Perú (MINEM), la representación gráfica de la energía solar en códigos de colores la han obtenido haciendo uso de un software especial, considerando parámetros meteorológicos como temperatura ambiente máximas y mínimas, altitud y relieve de la región, heliofonía, pendiente; diferentes a los utilizados en el presente trabajo de investigación.

Cuadro 31

Equivalencia numérica de los Distritos de las provincias de la región Tacna, en el mapa solar regional de la figura 51

Provincia	Distrito	N°	Provincia	Distrito	N°
Candarave	Curibaya	1	Tacna	Pocollay	15
	Cairani	2		Tacna	16
	Huanuara	3		Cml. G. Albarracín	17
	Quilahuani	4		Alto de la Alianza	18
	Candarave	5		Ciudad Nueva	19
	Camilaca	6		Tarata	Estique Pampa
Jorge Basadre	Locumba	7	Estique		21
	Ite	8	Héroes Albarracín		22
	Ilabaya	9	Sitajara		23
Tacna	Palca	10	Ticaco		24
	Pachía	11	Tarucachi		25
	Inclán	12	Susapaya		26
	Calana	13	Tarata		27
	Sama	14			

Fuente: Elaboración propia (2012)

En las figuras 58, 59 y 60 del anexo se muestran los mapas solares en promedio mensuales para la región Tacna., el código de colores es el mismo que para la figura 51.

4.2.10 Cuantificación de la cantidad de combustibles fósiles que se ahorrarían en la región Tacna,

Partiendo del valor del potencial energético solar global en valor promedio anual, igual a 6,04 kWh/m²día, considerando el poder calorífico de los combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas, y de sus derivados; y el de los principales biocombustibles, como el alcohol, madera y el biodisel; y el consumo anual total de energía eléctrica en la región Tacna, procedemos a calcular la cantidad de combustibles que se dejarían de usar o se ahorrarían, bajo el escenario de un uso masivo del potencial energético solar. En el cuadro 32 se indican los valores del poder calorífico de los principales combustibles fósiles y de algunos biocombustibles. La potencia que consume la región Tacna es de 35 MW, por lo tanto la energía que consume en un año para satisfacer su demanda es de 306,6x10⁶ kWh. En el cuadro 33 se presentan la cantidad de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y el gas propano que se quemarían si se usaran para

abastecer la demanda energética de la región Tacna, los valores se indican para consumo diario, mensual y anual. Estas cantidades, asimismo representan la cantidad de combustibles fósiles que se ahorrarían, bajo el escenario de uso masivo del potencial energético solar de la región Tacna.

Cuadro 32

Valor del poder calorífico y densidad de los combustibles fósiles y derivados, y de algunos biocombustibles

COMBUSTIBLE	Poder calorífico (Kcal/kg)	Poder Calorífico (KJoule/kg)	Poder Calorífico (kWh/kg)	Densidad (kg/m³)^(*)
PETRÓLEO	11 000	45 980	12,77	730 - 850
CARBÓN (HULLA)	7 416	31 000	8,61	1 350
GAS COMERCIAL	11 500	48 070	13,35	0,650
ETANOL PURO	6 750	28 215	7,84	790
ACEITE DE COLZA (BIODISEL)	9 100	38 038	10,57	921
GASOLINA 95	10 400	43 500	12,08	730
GAS PROPANO	11 000	45 980	12,77	0,185
MADERA SECA	4 550	19 019	5,28	—
KEROSENE	10 750	44 935	12,48	780
DIESEL	10 325	43 160	11,99	850

^(*) Densidades de los combustibles a temperatura ambiente

Fuente: Elaboración propia (2012)

ácida en ciudades de gran transporte vehicular, parques industriales y la alteración del paisaje. Sobre el medio biológico (II) todos los impactos son altamente negativos: debido a la alteración de la flora y fauna, a la muerte y migración de especies, a la pérdida de ecosistemas, a la contaminación atmosférica a través de los gases de efecto invernadero: CO, CO₂, N_xO, y a los daños a la salud de la población y a la infraestructura urbana.

Sobre el medio socio económico (III) los impactos van desde los altamente negativos: como los conflictos ambientales y geopolíticos, el deterioro de la calidad de vida de la población en general por los efectos sobre la salud; el origen del cambio climático, denominado el mal del siglo XXI; y la inseguridad energética; y moderadamente positivo considerando las inversiones y puestos de trabajo que se generan en las diferentes etapas para alcanzar la producción; y moderadamente negativo debido a la dependencia energética. Por tanto los impactos del uso de los combustibles fósiles es altamente negativo sobre nuestro medio ambiente, causante del cambio climático el cual tiene alcance global, y de repercusiones muy

negativas a nuestra sociedad, y además crea dependencia e inseguridad energética, en los países que no se autoabastecen.

5.2.3 Red de impactos ambientales causados por el uso masivo de la energía solar

La red reducida de posibles impactos, se muestran en la figura 54, en la cual podemos apreciar que los impactos sobre el medio físico, biológico y socio económico, son altamente positivos debido a que crearía autonomía energética en la región, la superficie del desierto y sector urbano se podría usar mejor, asignándole valor productivo, se tendría energía limpia para incrementar la disponibilidad de agua en la región, a través de procesos de bombeo de aguas subterráneas, riego tecnificado, desalación de agua de mar, remediación de aguas de las cuencas hídricas, asimismo utilizar esta energía para cualquier proceso artesanal, industrial, etc; podría recuperarse ecosistemas andinos, reducir la desertificación de los bofedales al dejar o disminuir el uso de las aguas altoandinas, se reduciría la migración y la extinción de especies al contar con ecosistemas con mejor flora para la alimentación y reproducción,

crearía mayores oportunidades de trabajo especializado también conllevaría a tener seguridad energética en la región, y el país podría tener un desarrollo sostenible, diversificando su matriz energética, y se mejoraría la calidad de vida y salud de la población.

Por otro lado produciría impactos moderadamente positivos, como el de contribuir a la reducción del efecto invernadero al dejar de emitir cientos de toneladas de CO₂ y otros gases, y acogerse al Mecanismo de Desarrollo Limpio a través de la venta de los Bonos de Carbono, generando ingresos económicos adicionales, incrementar el oxígeno ambiental al establecer cinturones verdes o incrementar las áreas verdes en la región, daría lugar a la apertura de empresas especializadas en la fabricación y usos de sistemas solares aprovechando la zona franca y el parque tecnológico, contribuir a mitigar el cambio climático, y establecer un programa de desarrollo sostenible regional. Por lo tanto, el uso masivo de la energía solar en la región sería altamente ventajoso en consideración a los impactos altamente positivos que genera su aplicación. (TREC, 2007)

5.3 Evaluación cualitativa de impactos ambientales bajo el método de Leopold

Para la evaluación cualitativa de impactos ambientales se ha aplicado la metodología de Leopold modificada de acuerdo a las características de las actividades involucradas en el presente estudio de investigación; los referentes al afianzamiento de la laguna de Aricota para generación de energía, y el uso del potencial energético solar bajo un escenario de uso masivo. Se presenta dos matrices de Leopold sobre la evaluación y valoración de impactos ambientales producidos por las actividades indicadas, considerando los componentes ambientales, parámetros de valoración, significancia y calificación de impactos consideradas y definidas en el capítulo 2.

5.3.1 Evaluación cualitativa de Impactos Ambientales causados por el afianzamiento hídrico de la laguna de Aricota

La evaluación se especifica en la matriz de valoración de Leopold del cuadro 38, caracterizada porque se evalúa el impacto ambiental sobre los medios bióticos, abióticos, socio económico y cultural, los parámetros de valoración están constituidos por la

variación de la calidad ambiental, magnitud, extensión, persistencia, recuperación, sinergia; con estos valores se determina la significancia, para finalmente calificar el correspondiente impacto ambiental. Encontramos que la significancia de los impactos sobre el medio biótico en promedio es de -17,25, con una calificación de altamente negativos; la significancia sobre el medio abiótico en lo referente al impacto de mejoramiento de la calidad del agua natural es altamente positivo con una significancia de +15, el promedio para los demás impactos es de -15,80 con una calificación de altamente negativo; la significancia sobre el medio socioeconómico y cultural referente al impacto de mayor disponibilidad de agua de mejor calidad y para la generación de energía la significancia es de +18 con una calificación de altamente positivo, para los demás impactos la significancia promedio es de -15 con una calificación entre altamente y moderadamente negativo.

5.3.2 Evaluación cualitativa de impactos ambientales causados por el uso masivo de la energía solar en la región Tacna

La evaluación se especifica en la matriz de valoración de Leopold del cuadro 39. Encontramos que la significancia de los

impactos sobre el medio biótico en promedio es de +14,67, con una calificación de altamente positivo; la significancia sobre el medio abiótico es en promedio +13, con una calificación de altamente y moderadamente positivo; .la significancia sobre el medio socioeconómico y cultural en lo referente al impacto de la alteración de la percepción visual (impacto al paisaje) es negativo con una significancia de -13, para los otros impactos la significancia promedio es de +15,29, con una calificación de altamente positivo.

5.4 Cuantificación del potencial energético solar en la región Tacna

El potencial energético solar para la región Tacna, se ha determinado sobre la base de los datos anualizados de irradiancia solar global sobre una superficie horizontal en promedios mensuales, estacionales y anuales, por una parte los registrados directamente en la ciudad de Tacna con la estación meteorológica del CERT – UNJBG (cuadro 27), y por otro de irradiancia solar global calculados (cuadro 21) con datos promedios mensuales de heliofonía registradas por el Senamhi Tacna en sus estaciones meteorológicas ubicadas en Tarata, Candarave, Tacna ciudad, Locumba, Calana,

Chuapalca, Ite y Vilacota, utilizando la ecuación de Angstrom-Prescott, y especificados en el cuadro 21.

En el cuadro 21 se muestran los valores de la irradiancia solar global sobre una superficie horizontal, calculados con la ecuación de Angstrom-Prescott y de los valores de la radiación solar extraterrestre del cuadro 22 para cada latitud de los lugares indicados, para cada lugar de registro del Senamhi el promedio anualizado de la irradiancia solar global W/m^2 es: Tarata 268,92 W/m^2 (3100 msnm), Candarave 267,25 W/m^2 (3415 msnm), Tacna 250,50 W/m^2 (560 msnm), Locumba 260,50 W/m^2 (550 msnm), Calana 261,42 W/m^2 (848 msnm) Chuapalca 257,75 W/m^2 (4250 msnm) Ite 224 W/m^2 (160 msnm), Vilacota 251,50 W/m^2 (4390 msnm). De estos lugares se deduce que Candarave, Tarata y Chuapalca, ubicados en la zona de la sierra, presentan los mejores valores promedios de irradiancia, la explicación está en el hecho de que se ubican a altitudes mayores de los 3000 msnm, atmósfera con menos gases contaminantes, y nubosidad alta en los meses de lluvia; proveniente del océano atlántico y de la cuenca del lago Titicaca; mientras que los lugares ubicados en costa cercanos al mar, como Ite se constituye en el

distrito con menor irradiancia solar anual, debido a que en los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre presenta alta nubosidad con presencia de lloviznas debido a su orografía accidentada pegada al mar y a la influencia de la corriente fría de Humbolt, mientras que en Locumba, Calana y ciudad de Tacna, ubicadas en la zona de costa, los valores de la irradiancia son mayores referente al de Ite, pero inferiores a los lugares de ssierra.

En el cuadro 24 se muestran los valores promedios anualizados de la irradiancia solar global en W/m^2 sobre superficie horizontal, correspondiente al periodo 2002 - 2006 al 2001, para las cuatro provincias de la región Tarata, Candarave, Tacna, y Jorge Basadre, los promedios anualizados son $259,5 W/m^2$; $267,25 W/m^2$, $256 W/m^2$; $242,75 W/m^2$, respectivamente; esto se ha realizado considerando los lugares de registro ubicados en cada provincia según el cuadro 30. En la figura 36 se muestra la variación de los promedios anualizados, determinándose que la provincia con mayor irradiancia solar global es Candarave, y la de menor la provincia de Jorge Basadre, debido a que en el distrito de Ite en los meses de Invierno la heliofonía es baja, tal como se puede observar en el cuadro 25. En

la caso de las provincias de Tarata y Candarave, la irradiancia solar global es menor a la de las provincias de Tacna y Jorge Basadre en los meses de enero a marzo, debido a que es la época de lluvia y los día se presentan nublados, en el transcurso de los demás meses observamos que en los cuatro provincias en la estación de invierno alcanzan sus valores mínimos (183 W/m^2), luego se incrementan en primavera para alcanzar sus valores máximos (327 W/m^2) en los meses de verano.

Agrupando los lugares de registro indicados en lugares de zona de costa y sierra de la región Tacna, según el cuadro 26 de valores de irradiancia solar global sobre superficie horizontal, encontramos que el valor promedio de la irradiancia anualizada para la zona de sierra es de $261,50 \text{ W/m}^2$, y para la zona de costa $249,33 \text{ W/m}^2$, en la figura 38 se observa la variación mensual, encontrando que en los meses de enero, febrero y marzo, la irradiancia solar global es mayor en la zona de costa, debido a lo indicado en el párrafo anterior, luego de mayo a diciembre la irradiancia promedio en la sierra es ligeramente mayor al de la costa.

En lo referente a la medida directa de la irradiancia solar global sobre una superficie horizontal en la ciudad de Tacna con la estación meteorológica del CERT, es preciso indicar que se cuentan con datos promedios de irradiancia de los años 2010 y 2011, mientras que para los años 1986 y 1995 se cuentan con los registros de los valores promedios mensuales y anuales de la energía solar, obtenidos de los valores promedios mensuales de irradiancia solar global sobre superficie horizontal registradas con el solarímetro Keep & Zonnen; esta es la razón por la cual sólo se indican valores del 2010 y 2011, detallados en el cuadro 27, el promedio correspondiente es de $233,22 \text{ W/m}^2$ para el 2010, y de $234,05 \text{ W/m}^2$ para el 2011, estableciendo que la diferencia de los valores promedios anuales de la irradiancia solar para un mismo lugar de registro, es mínima de año a año.

En la figura 40 representamos la variación diaria de la irradiancia solar global para el mes de mejor y de menos irradiancia, que corresponden a los meses de enero y junio del 2010, la diferencia se debe a que meses de verano en la ciudad de Tacna los días se presentan más despejados, la temperatura ambiente es más

alta, y la tierra está más cerca al sol; mientras que en los meses de invierno los días se presentan con mayor nubosidad y presencia de llovizna, alcanzándose temperaturas ambientales mínimas, y la distancia Tierra-sol es mayor. En la figura 41 se muestra la variación horaria de la irradiancia solar para los mejores días y días de menores irradiancia para el año 2011. En las figuras 42 y 43 se muestra la variación mensual en promedios diarios de la irradiancia solar global, para los meses de mejor y menor irradiancia, correspondiente al año 2011; de lo descrito se deduce que no existe día, mes y año con iguales características de variación de la irradiancia solar global sobre una superficie horizontal, debido a que las condiciones meteorológicas en cada lugar, como consecuencia del balance energético tierra-atmósfera, la influencia del cambio climático, y a los fenómenos de la corriente del Niño y la Niña que se manifiestan en el verano e invierno, respectivamente, entre otros factores.

Según el cuadro 28, el potencial energético global estacional sobre superficie horizontal para cada una de las provincias de la región, es: Tarata 6,22 kWh/m²día, Candarave 6,42 kWh/m²día,

Tacna 6,14 kWh/m²día, Jorge Basadre 5,83 kWh/m²día, encontrando que la provincia con mayor potencial solar es Candarave, y la de menor Jorge Basadre, por la influencia del comportamiento anual de la irradiancia solar en el distrito de Ite.

Considerando los valores del cuadro 29 para cada lugar de registro de heliofonía y la figura 45, se determina que para Tarata el valor promedio de la energía solar global sobre superficie horizontal es de 6,5 kWh/m²día, Candarave con 6,4 kWh/m²día, Tacna con 6,00 kWh/m²día, Locumba con 6,2 kWh/m²día, Calana con 6,3 kWh/m²día, Chuapalca con 6,2 kWh/m²día, Ite con 5,4 kWh/m²día, Vilacota con 6,00 kWh/m²día, por lo tanto el potencial energético de Calana es mejor que de Tacna ciudad, el de Locumba es algo similar al de Calana, Ite es el distrito con menor potencial energético solar de la región; en los lugares de la zona de Sierra (Tarata, Candarave, Chuapalca y Vilacota) alcanzan sus máximos valores mayores entre 7,00 a 7,40 kWh/m²día entre los meses de octubre, noviembre y diciembre, y los mínimos en los meses de invierno mayores de 5 kWh/m²día; mientras que en los lugares de la zona de costa (Tacna, Locumba, Calana, Ite) alcanzan sus máximos valores en los meses

de noviembre, diciembre, enero mayor a 7,5 kWh/m²día; y los valores mínimos en los meses de junio, julio y agosto superior a 4,5 kWh/m²día, a excepción de Ite: 3,8 kWh/m²día. Los valores encontrados también se sustentan en el hecho que la transmitancia atmosférica mínima para los lugares de la sierra es de 0,367 ó 36,7 %, y para los de la costa de 0,593 ó 59,3 %, valores determinados por la constante "a" que se han usado en la ecuación de Angstrom- Prescott.

En lo referente a la ciudad de Tacna, la energía solar promedio mensual anualizada a los años 1986, 1995, 2010 y 2011, es de 5,67 kWh/m², según los datos del cuadro 30, en la figura 49 representamos la variación comparativa mensual de la energía solar global promedio para los periodos indicados, obtenidos con la medición directa de la irradiancia solar y con datos de heliofonía, encontrando que existe similitud entre una curva y la otra, en cuanto a los valores promedios la diferencia interanual es de 0,33 kWh/m², o del 5,80 %.

Igualmente en la figura 48 representamos el comportamiento estacional de la energía solar global, encontrando que la estación de verano es la que cuenta con mayor energía solar con un 30,03 % del promedio total anual, y en la estación de invierno es menor con un 19,99%.

Cuadro 40

Valores mensuales de la energía solar promedio anualizada al período 2002-2006 al 2011, sobre una superficie horizontal en la región Tacna

Energía solar promedio mensual (kWh/m ² día)												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Prom
6,98	6,40	6,48	5,89	5,26	4,80	4,53	5,57	6,13	6,82	6,95	6,69	6,04

Fuente: Elaboración propia (2012)

Por lo tanto, encontramos que el potencial energético solar de la región Tacna, en promedio anual, considerando sus cuatro provincias, es de $(6,04 \pm 0,36)$ kWh/m²día, para valores de irradiancia solar global sobre una superficie horizontal, registradas en el periodo del 2002-2006 al 2011, considerando los registros del CERT y los determinados vía heliofonía con registros del Senamhi Tacna; visualizado en la figura 55.

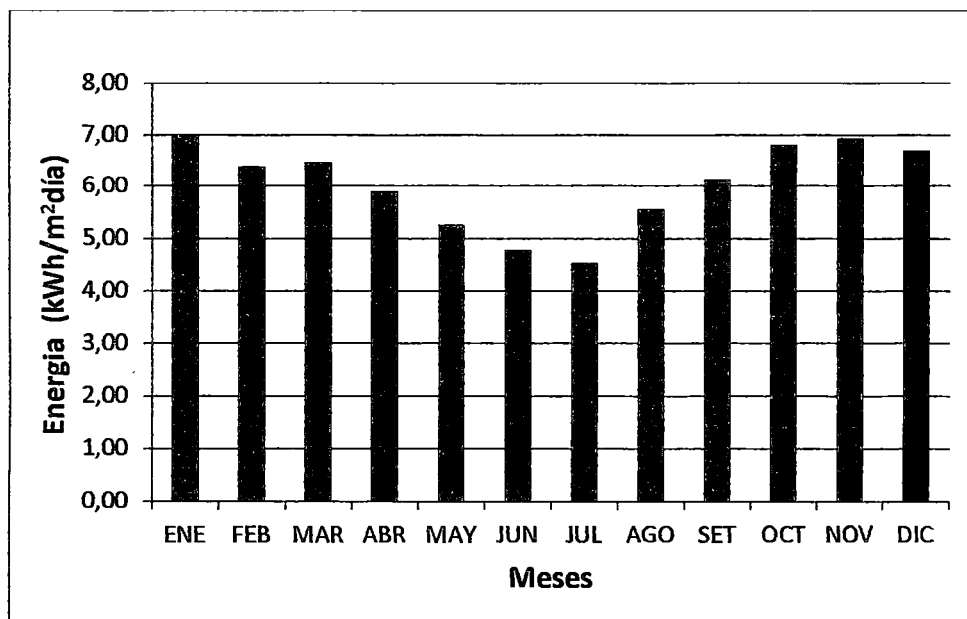


Figura 55: Potencial energético solar de la región Tacná, correspondiente al periodo 2002-2006 al 2011, en valores mensuales promedios de la energía solar sobre una superficie horizontal

Fuente: Elaboración propia (2012)

En el cuadro 40 se establece los valores mensuales de la energía solar global para la región de Tacna, anualizados al periodo indicado, en el cual observamos que la energía máxima promedio incidente es en enero: 6,98 y la mínima en julio: 4,5 kWh/m²día, la variación entre estos valores extremos es de 2,48 kWh/m²día, o del 55,11%. En la figura 56 se presenta el mapa solar regional proyectado, bajo código de colores para el periodo 2002-2006 al

2011, sobre la base de los lugares en los cuales se ha evaluado el potencial solar.

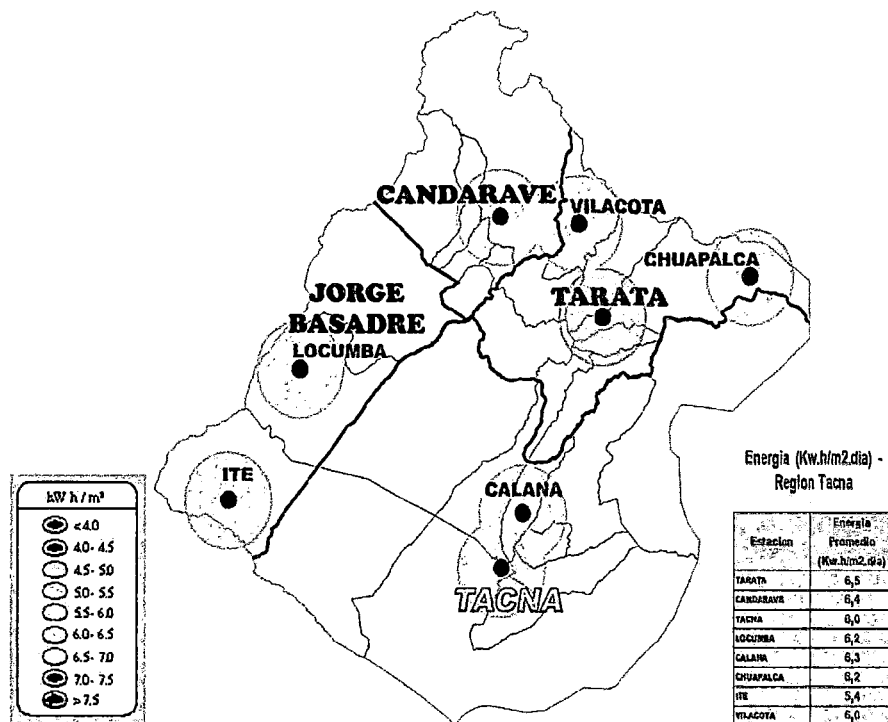


Figura 56: Mapa solar proyectado regional Tacna en promedio anual sobre superficie horizontal, para el periodo 2002-2006 al 2011.

Fuente: Elaboración propia (2012)

Considerando el mapa de energía solar global en promedio anual, sobre una superficie horizontal para el periodo 1975 a 1990 de la región Tacna, visualizado en la figura 50, y de acuerdo al código de colores correspondiente, encontramos que el valor promedio

anual es de 6,33 kWh/m², la diferencia al valor calculado es de 0,29 kWh/m² ó 4,8%.

En este mapa, podemos visualizar el “cinturón de energía solar de la región Tacna”, comprendido entre una altitud de 800 a 1600 msnm, de color rojo oscuro, en una franja territorial de ancho de 20 a 30 Km. aproximadamente, comprendida por el sur entre las ciudades de Tacna y la parte media de los distritos de Pachía y Palca, extendiéndose hacia el norte (límite con Moquegua), abarcando gran parte de los distritos de Locumba e Ilabaya, abarca aproximadamente $\frac{1}{4}$ del área regional (4000 Km²), en esta zona la energía solar global promedio anual supera los 7,00 kWh/m²día.

En unidades equivalentes al kilo-watts-hora (kWh), el valor de 6,04 Kilowatts-hora de energía solar proveniente del sol; equivale a $217,44 \times 10^5$ Joule/m²día, ó 5194,46 Kcal/m²día, ó $7,42 \times 10^{-4}$ TEC/m²día; ó $5,1 \times 10^{-4}$ TEP (0,51 litros de petróleo/m²día).

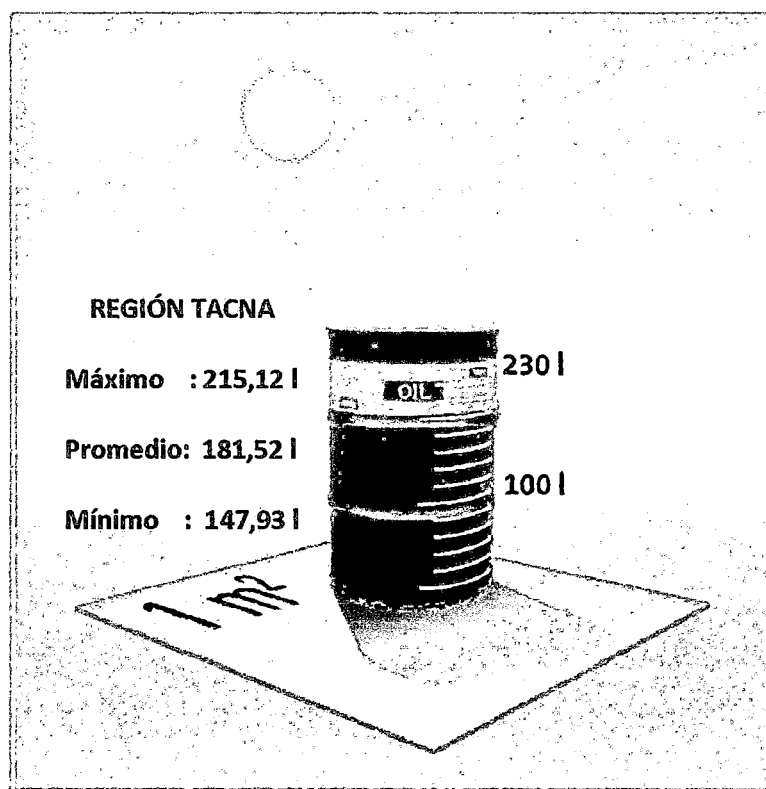


Figura 57: Esquema comparativo entre litros de petróleo y la energía solar anual incidente por metro cuadrado, en el contexto mundial y el potencial solar de la región Tacna

Fuente: Elaboración propia (2012)

Considerando referencias mundiales como la de FAK, DURSCHNER, otros, (2006), tenemos que a nivel mundial la energía solar incidente sobre 1 m² de superficie terrestre en un año, es equivalente a la energía contenida en 90 litros (valor mínimo: 2,98

kWh/m²día) y a 230 litros de petróleo (valor máximo: 7,61 kWh/m²día).

Para la región Tacna el promedio es de 6,04 kWh/m²día, ó de 2204,6 kWh/m² al año; equivalente a 181,53 litros de petróleo por cada metro cuadrado de superficie en un año, su máximo 6,98 kWh/m²día ó 2547,7 kWh/m² al año (215,12 litros de petróleo), y su valor mínimo 4,80 kWh/m²día, ó 1752 kWh/m² al año, equivalente a 147,93 litros de petróleo); estos valores nos indican que el promedio anual de la energía solar global de la región Tacna sobre superficie horizontal es de 13,46 % sobre el promedio mundial.

A manera de comparación, el potencial energético solar global de Alemania es de 1000 kWh/m² al año, y el de España 1500 kWh/m², es decir que sus potenciales solares son mucho menor que el de nuestra región igual a 2204,6 kWh/m² al año; sin embargo cuentan con políticas claras de incentivos al desarrollo de sistemas que usan como fuente energética a la energía solar, y a la fecha son los países europeos líderes en este campo, con mega plantas solares fotovoltaicas y de concentración para la producción de energía eléctrica y calorífica.

5.5 Cuantificación de CO₂, SO₂, y N_xO dejados de emitir

Del cuadro de valores de la cantidad de gases de efecto invernadero correspondiente, se deduce que si se usase carbón para producir electricidad, se tendría la mayor cantidad CO₂ emitidos a la atmósfera, igual a $2,887 \times 10^5$ toneladas, seguido del petróleo con $2,47 \times 10^5$ toneladas, y el gas con $1,301 \times 10^5$ toneladas de gas propano; el gas resulta el más limpio de los combustibles fósiles, el que más emite SO₂ y NO_x es el carbón.

Por otro lado considerando el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), establecido en el Protocolo de Kyoto y firmado por nuestro país, la región Tacna o las empresas que se involucren en esta temática pueden acogerse a la venta de los Bonos de Carbono; considerando que cada bono en el mercado internacional vale entre (5 a 15) dólares USA. Según OMM,WMO, PNUE, UNEP (2008) el certificado de un bono de carbono equivale a una tonelada equivalente de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera; por lo tanto las $2,474 \times 10^5$ toneladas de CO₂ que se dejarían de emitir a la atmósfera, al usar la energía solar en reemplazo del petróleo, representaría un ingreso anual adicional entre $1,23 \times 10^6$ y $3,71 \times 10^6$

de dólares USA, y sobre todo estaríamos contribuyendo a mitigar y adaptarnos al cambio climático al usar una energía limpia, gratuita, de alto potencial y disponibilidad regional, renovable (inagotable), segura, descentralizada, conllevando a la región hacia un desarrollo sostenible.

5.6 Cuantificación de la cantidad de combustibles fósiles ahorrados

Según el Ministerio de Energía y Minas, 2010, Tacna consume actualmente una potencia de 35 MW, tal energía proviene de las centrales Hidroeléctricas de Aricota I y II que no abastece la demanda regional, toda vez que actualmente por déficit hídrico sólo funciona al 50 % o menos de su capacidad, igualmente de la Central Térmica de Pisco que funciona con gas natural, de la Central Térmica de Ilo que funciona con carbón mineral exportado de Australia, y de grandes centrales hidroeléctricas ubicadas en regiones del país, cuya energía eléctrica llega a Tacna a través del sistema interconectado eléctrico nacional (SIEN). Por tanto la energía que consume en un año para satisfacer su demanda es de $306,6 \times 10^6$ kilowatthora; el poder calorífico de los combustibles

fósiles, y el potencial energético solar anual de la región Tacna, se determina que la cantidad de combustibles fósiles que se ahorraría anualmente al dejar de usarse, equivale a 26 019,17 TEP, ó 37 154,90 TEC, ó 23 676,42 TEG propano, considerando que el país es importador de crudo de petróleo, este ahorro significa un ahorro anual de divisas de aproximadamente cinco millones de dólares USA ($\$ 5 \times 10^6$), y sobretodo, garantizaría seguridad energética.

5.7 Area de terreno necesario para plantas solares para la generación de energía eléctrica

El área de terreno que se requiere para abastecer la demanda energética regional, bajo un escenario de uso masivo del potencial energético solar regional, lo calculamos considerando que la energía solar en promedio anual es de 6,04 kWh/m²día, y una demanda energética anual regional de $306,6 \times 10^6$ kWh ó 26 019,17 TEP. El valor encontrado es de 13,71 ha; este valor corresponde al caso en que los sistemas que transforman la energía solar a energía eléctrica o calorífica tuviesen una eficiencia de conversión del 100 %, lo cual es imposible técnica y científicamente. Actualmente los sistemas

termosolares de transformación de la energía solar a energía térmica alcanzan una eficiencia entre el 30 a 60 %; mientras que los sistemas fotovoltaicos y de concentración solar que transforman la energía solar a energía eléctrica, tienen una eficiencia entre 5 al 20 %.

En el cuadro 36, se especifica la eficiencia de conversión de energía solar a energía eléctrica de los cinco principales sistemas de conversión: fotovoltaico, cilíndrico parabólico (CPC), fresnell de foco lineal, torre central, y motor disco Stirling, y el área de terreno y área específica correspondiente. El área de terreno se refiere a la superficie de terreno considerando que los captadores solares se colocarían simétricamente uno tras otro, semejante a un tablero de ajedrez; y el área específica se refiere a que cuando se instalan los captadores solares, estos son colocados en filas paralelas o concéntricas, y entre filas se deja un espacio para que el sistema rote libremente sobre uno ó dos ejes a efectos de seguir perpendicularmente al sol durante el día y durante el año, y no proyectar sombra entre captadores, y también para caminos para el desplazamiento de personas y vehículos para el mantenimiento y reparación correspondiente.

Si se usase la energía solar para producir energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos, y abastecer la demanda regional durante las horas de sol, se requiere 246,88 ha de terreno, esta superficie representa el 0,015 % del total regional, y 0,032 % de la zona de biodiversidad de Escasa o Nula Vegetación; esta superficie es variable dependiendo del sistema que se use, el que requiere mayor área es el sistema de Torre Central, seguido del sistema Motor Disco Stirling, y el CPC. Por otro lado, cuando refiero a superficie de terreno, debe entenderse que este puede ser área del desierto en el caso de grandes plantas, como también puede ser áreas de los techos de casas particulares, colegios, hospitales, mercados, edificios públicos y privados, playas de estacionamiento, espacios libres de calles y avenidas, etc. Considerando la potencia energética anual que actualmente requiere el Perú, de 5 018 MW, con un crecimiento anual superior al 4 %, según información del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC), la energía anual correspondiente equivale a $156,07 \times 10^{15}$ Joule ó $4,33527 \times 10^{10}$ kWh, si este requerimiento se haría con plantas solares fotovoltaicas, se requeriría una superficie de terreno 35 395,54 ha, que representa el 2,15 % de la superficie regional, la zona mas adecuada

es la correspondiente a la denominada "cinturón o franja solar de Tacna".

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

PRIMERA: El potencial energético solar global de la región Tacna, cuantificado sobre una superficie horizontal en valor promedio anual es de $(6,04 \pm 0,36)$ kWh/m²día, superior en 13,46% al promedio mundial; equivalente a 0,51 kilogramos de petróleo por metro cuadrado por día, si la región fuese abastecida durante el día por sistemas fotovoltaicos, se requiere una superficie de terreno del desierto de 246,88 ha, equivalente al 0,032% de la zona de biodiversidad de escasa o nula vegetación, sin afectar la biodiversidad y zonas de vida de la región. La provincia con mayor potencial energético solar es Candarave, y el distrito con menor recurso solar es Ite; estos valores nos indican que la región Tacna posee un recurso energético solar muy bueno, que puede convertirla en autónoma y segura energéticamente, diversificando su matriz energética.

SEGUNDA: La región Tacna cuenta con una zona territorial comprendida entre 800 y 1600 msnm, de 20 a 30 km de ancho denominada el "cinturón solar de la región Tacna", aproximadamente con una extensión de un cuarto del área regional (4000 Km²), en esta zona la energía solar global promedio anual supera los 7,00 kWh/m²día; resultando la zona ideal para la conversión de la energía solar a electricidad a gran escala..

TERCERA: El afianzamiento hídrico de las centrales hidroeléctricas de Aricota I y II, ha ocasionado graves problemas ambientales, con impactos altamente negativos sobre los medios biótico, abiótico y socio-económico, con valoraciones de significancia superiores a -15, produciendo el secamiento de bofedales, desertificación en áreas colaterales, los cuales son fundamentales para la disponibilidad de agua y conservación de los ecosistemas altoandinos de la región. Igualmente las fuentes energéticas térmicas que dotan de energía a la región, están emitiendo grandes cantidades de gases de efecto invernadero que derivan en el cambio climático regional y global.

CUARTA: La energía solar es una gran alternativa energética-ambiental por sus impactos altamente positivos sobre los medios biótico, abióticos y socio económico cultural, con significancia superior a +16, además de ser renovable, gratuita, descentralizada, limpia, y con un gran potencial regional, garantizando seguridad y autonomía energética, y un desarrollo sostenible regional.

QUINTA: La cantidad de combustibles fósiles que se ahorrarían por año equivalen a 26 019,17 toneladas equivalentes de petróleo (TEP), ó 37 154,90 toneladas equivalentes de carbón mineral (TEC), ó 23 676,42 toneladas equivalentes de gas propano (TEG propano)

SEXTA: Con la cantidad combustibles fósiles ahorrados, en un año se dejaría de emitir, por la combustión del carbón $2,887 \times 10^5$ TM de CO_2 ; ó $2,47 \times 10^5$ TM por la combustión de petróleo; ó $1,301 \times 10^5$ TM por la combustión de gas propano; recordando que el CO_2 es el principal gas de efecto invernadero por su gran contenido en la atmósfera. La emisión de SO_2 dejada de emitir por el ahorro de petróleo es de 4 294 ,08 TM, por el ahorro de carbón 1300,32

TM. La cantidad de gas N_xO dejada de emitir por el uso del petróleo es de 120,96 TM, por el ahorro de carbón de 1 300,32 TM, y por el ahorro de gas propano 151,19 TM), con las cantidades de gases dejadas de emitir, se estaría contribuyendo a la mitigación del cambio climático, y por otro lado la región se podría acoger al Mecanismo de Desarrollo Limpio, a través de la venta de los bonos de carbono.

6.2 Recomendaciones

PRIMERA: Se debe de incentivar el uso masivo de la energía solar en la región Tacna, sobre la base de su gran potencial energético y disponibilidad de terreno del desierto, debe estructurarse un programa integral en el cual se fijen incentivos y establezcan normas claras para la inversión privada para la fabricación de equipos y sistemas, así como para la instalación de plantas solares para la generación de electricidad para abastecer la demanda regional, e inclusive en la posibilidad futura de vender energía a otros países vecinos.

SEGUNDA: Se debe de contar con programas de formación profesional y técnica en este campo, en este sentido deberán jugar un rol fundamental y preponderante los profesionales que se vienen formando en las universidades locales, en especial de la Escuela de Física Aplicada de la UNJBG que cuenta con esta especialidad, potenciar y potenciar el Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT) con infraestructura y equipamiento para realizar investigación científica básica y aplicada.

TERCERA: Debe realizarse un estudio integral del recurso solar regional, considerando las otras formas de irradiación solar, tal como la difusa, directa, albedo; con fines energéticos, y de investigación de la influencia del cambio climático en el ámbito regional. Igualmente realizar un estudio regional de la incidencia espectral de la radiación ultravioleta con fines de prevención de la salud poblacional, aspecto relacionado con el agujero de la capa de ozono estratosférico. Para esto se debe instalar estaciones meteorológicas completas, y registrar permanentemente tales parámetros en forma integral.

REFERENCIAS

Referencias bibliograficas

- CHASSERIAUX, J.A. (1990). *Conversión Térmica de la Radiación Solar*, (Primera Edición). Argentina: Librería Agropecuaria S.A
- Comunidad Europea (2006). *El cambio climático ¿qué es?*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de la Comunidad Europea
- Conesa Fdez, Victoria V (1997). *Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental*, (3ra edición). Madrid, España: Ediciones Mundi – Prensa
- Duffie; Jhon A y Beckman, William (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley & Sons, INC
- Dunn, P.D. (1994). *Renewable Energies: Sources, Conversion, and Application*; IEE Energy Series. England: Heffers Printers Limited
- Fak Antony, Christian; Durschner, Karl; Heinz, Remmers. (2006). *Fotovoltaica para Profesionales: Diseño, Instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas*. Sevilla, España: Editorial Censolar, Solarpaxis, Progenisa
- Fernández Delgado, José M. (2010). *Guía Completa de la Energía Solar Térmica y Termoeléctrica*. Madrid, España: AMV Ediciones

- Hernandez Sampieri, Roberto; Fernanadez Collado, Carlos; y Baptista Lucio, Pilar: (2007), *Fundamentos de metodología de la investigación*. Madrid, España: Mc Graw Hill Interamericana de España.
- Gerencia Regional de Recursos Naturales – Gerencia del Medio Ambiente (GRRN-GMA-GRT) (2009). *Proyecto de Ordenamiento Territorial y Zonificación Económica Ecológica (OT_ZEE) de la Región Tacna*. Tacna, Perú: Gobierno Regional Tacna (GRT)
- Grossi Gallegos, H.; Aristegui, R.; Righini, R. (2011). *Análisis de la radiación solar global en San Carlos, Salta*. Salta, Argentina: ASADES, Voll 13, Universidad Nacional de Luján
- INADE - PET (2000). *Compatibilización y Actualización Ambiental del Proyecto Vilavilani I-II etapa*, Tacna, Perú: Proyecto Especial Tacna (PET)
- INEI (2005). *Censo Poblacional del Perú, (2005)*. Lima, Perú: INEI
- Kalogirou, Soteris (2009). *Solar Energy Engineering: Process and Systems*. Reino Unido: Academic Press Publication, London
- Lorenzo, E: (1994). *Electricidad Solar: Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos*. Sevilla, España: Promotora General de Estudios S:A (Progensa)

- Madrid, Antonio (2009). *Energías Renovables: Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones*; (Primera edición). Madrid, España: AMV Ediciones, Mundi Prensa
- OMM; WMO; PNUE; UNEP (1997, 2000, 2008): *Impactos Regionales del cambio Climático, Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)*; Ginebra, Suiza: Informe Especial del IPCC
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (1992). *Vocabulario meteorológico internacional*. Suiza: OMM N° 182,
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) (1993). *Compendio de apuntes sobre instrumentos meteorológicos para la formación del personal meteorológico de las clases III y IV*. Suiza: OMM N° 622.
- Polo Bravo, C. y Torres Muro H., (2002), *Energía y Desarrollo Sostenible*, Arequipa, Perú: Memorias impresas del IX SPES, APES- UNSA, Centro de Energías Renovables de Tacna – UNJBG
- Polo Bravo, Carlos; Torres Muro, Hugo (2009). *Cambio Climático: Causas, Impactos, Vulnerabilidad, Adaptación y Mitigación para el Desarrollo Sostenible*. Tacna, Perú: Diplomado en Planificación y Ordenamiento Territorial para el Desarrollo Sostenible Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, Gobierno Regional Tacna

Polo Bravo, Carlos: (2010), *El potencial energético renovable de la región Tacna*, XIX Simposio Peruano de Física, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima, Agosto del 2010; IV Conferencia Latinoamericana de Energía Solar y XVII Simposio Peruano de Energía Solar; International Society Energy Solar (ISES), (APES), Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Cusco, Noviembre del 2010 (paper)

Rodríguez, H y González H. (1992). *Manual de irradiación solar en Colombia (Irradiación sobre superficies horizontales)*. Bogotá, Colombia: Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia

Sánchez, C.; Rodríguez, F.; Collante E. y Simbaqueva, O. (1993). *Atlas de Radiación solar de Colombia* (Primera edición). Colombia: Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA),e Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT).

SENAMHI, DEP-MEM, (2002). *Atlas de Energía Solar del Perú*. Lima-Perú: Proyecto PER98/G31- MINEM

Tavera, Llano y Peñafiel M. (1992), *Cálculo de la Radiación solar por integración Numérica*. Bolivia: Universidad Autónoma Tomás Frías

- Torres Muro, Alfredo y Liñán Abanto, Rafael (1997). *Evaluación del potencial energético solar de Tacna (ciudad)*. Tacna, Perú: Informe PROIN, CERT-FACI-UNJBG
- Torres Muro, Hugo (2010). *Evaluación de Impacto ambiental producido por el uso de cocinas tradicionales en el Area de Conservación Regional Vilacota-Maure de la región de Tacna*. Tacna, Perú: Tesis de Maestría, UNJBG, Escuela de Post Grado
- Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation (TREC) (2007). *Clean Power from Deserts: The DESERTEC Concept for Energy, Water and Climate Security*. Hamburg, Alemania: TREC
- Trieb, Franz (1995), *Solar Electricity Generation, Description and Comparison of solar Technologies for Electricity Generation*. Alemania: DLR
- Trieb, Franz (2007). *Concentrating Solar Power for Seawater Desalination (final report project AQUA-CSP)*. Alemania: German Aerospace Center (DLR), Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety
- Watson, R. T.; Zinyowera; M. C.; y. Moss R. H. (1996): *Tecnologías, Políticas y medidas para mitigar el Cambio Climático. Documento Técnico I del IPCC: USA – Simbabwe: OMM; WMO; PNUE; UNEP*

Referencias electrónicas

- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2008). *Política de Medio Ambiente y cumplimiento de salvaguardas*. Washington DC, USA: División de medio Ambiente, Departamento de Desarrollo Sostenible., Biblioteca Felipe Herrera, BID; <http://www.iadb.org/sds/env>
- Energy Country Profiles LATIN AMERICA*, Abu Dhabi, United Arab Emirates: IRENA. <http://www.irena.org>
- EREC (European Renewable Energy Council) (2008). *Renewable energy Scenario to 2040*, Bruselas. EREC, Renewable Energy Houses. <http://www.erec-renewables.org>
- Global Market Initiative (CSP) (2009). *The Concentrating Solar Power*. España: IEA Solar Paces. <http://www.solarpaces.org>
- Ministerio de Energía y Minas (2010). *Estadística Eléctrica por Regiones 2010*. Lima, Perú: MINEM. <http://www.minem.gob.pe>
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2012). *Renewable Energy Country Profiles LATIN AMERICA*, Abu Dhabi, United Arab Emirates: IRENA. <http://www.irena.org>
- Fernandez Diez, Pedro (2009). *Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura*. España: <http://libros.redsauce.net/>

Gamio, Pedro; García, Henry (2011). *Energías Renovables en el Planeamiento Estratégico de mediano y largo plazo*. Lima, Perú: Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN).
<http://www.ceplan.org.pe>

ANEXOS

Cuadro 41

Horas de salida del sol (HS); horas de puesta del sol (HP), y duración astronómica del día (N), para diferentes latitudes en el Hemisferio Sur

Lat (°)	12°			14°			16°			18°		
	HS	HP	N	HS	HP	N	HS	HP	N	HS	HP	N
Ene	05:47	18:32	12.8	05:44	18:35	12.9	05:40	18:39	13.0	05:37	18:42	13.1
Feb	06:00	18:28	12.5	05:58	18:30	12.5	05:56	18:32	12.6	05:54	18:34	12.7
Mar	06:04	18:14	12.2	06:03	18:14	12.2	06:03	18:14	12.2	06:03	18:15	12.2
Abr	06:05	17:55	11.8	06:06	17:53	11.8	06:08	17:52	11.7	06:09	17:50	11.7
May	06:09	17:43	11.6	06:12	17:40	11.5	06:15	17:37	11.4	06:18	17:34	11.3
Jun	06:18	17:43	11.4	06:21	17:40	11.3	06:25	17:36	11.2	06:29	17:32	11.1
Jul	06:21	17:51	11.5	06:25	17:47	11.4	06:28	17:44	11.3	06:32	17:40	11.1
Ago	06:13	17:56	11.7	06:15	17:54	11.7	06:17	17:52	11.6	06:20	17:50	11.5
Set	05:54	17:56	12.0	05:55	17:56	12.0	05:55	17:55	12.0	05:56	17:55	12.0
Oct	05:35	17:57	12.4	05:34	17:58	12.4	05:32	17:59	12.5	05:31	18:01	12.5
Nov	05:25	18:05	12.7	05:22	18:08	12.8	05:19	18:10	12.9	05:16	18:14	13.0
Dic	05:30	18:20	12.8	05:27	18:24	13.0	05:23	18:28	13.1	05:19	18:31	13.2

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA 2002)

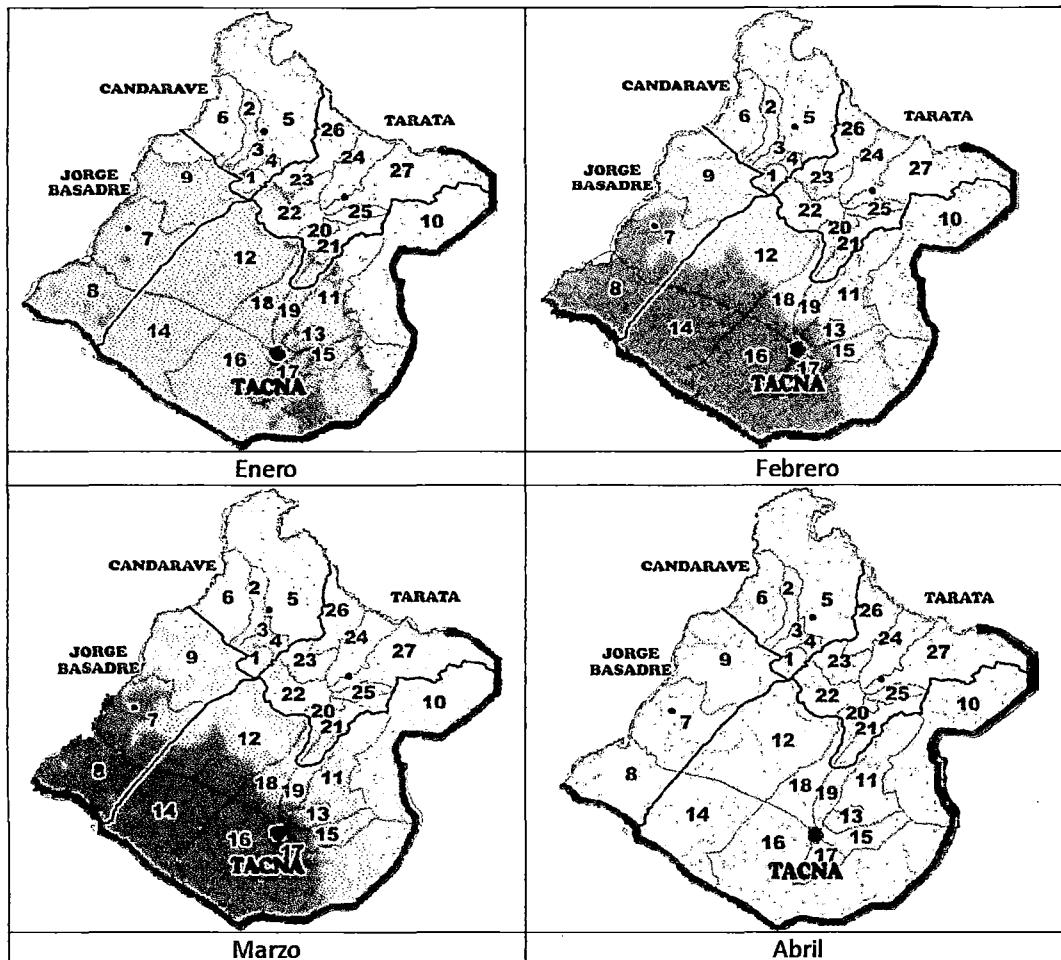


Figura 58: Mapas solares en valores promedios mensuales de la energía solar incidente global sobre una superficie horizontal para la región Tacna, periodo 1975 – 1990, meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, en código de colores

Fuente: SENAMHI, DEP- MEM (2002) – Elaboración propia (2012)

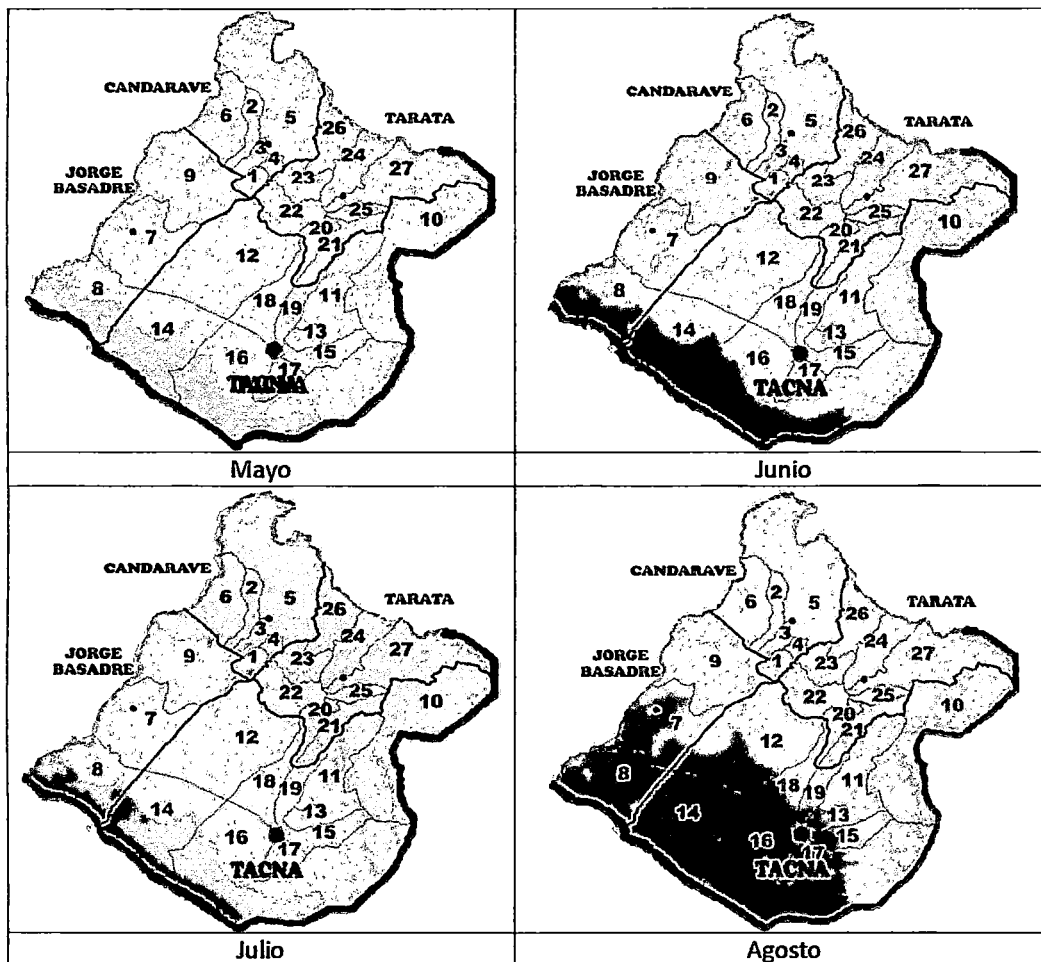


Figura 59: Mapas solares globales en valores promedios mensuales de la energía solar incidente sobre una superficie horizontal para la región Tacna, periodo 1975 – 1990, meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, en código de colores

Fuente: SENAMHI, DEP- MEM (2002) – Elaboración propia (2012)

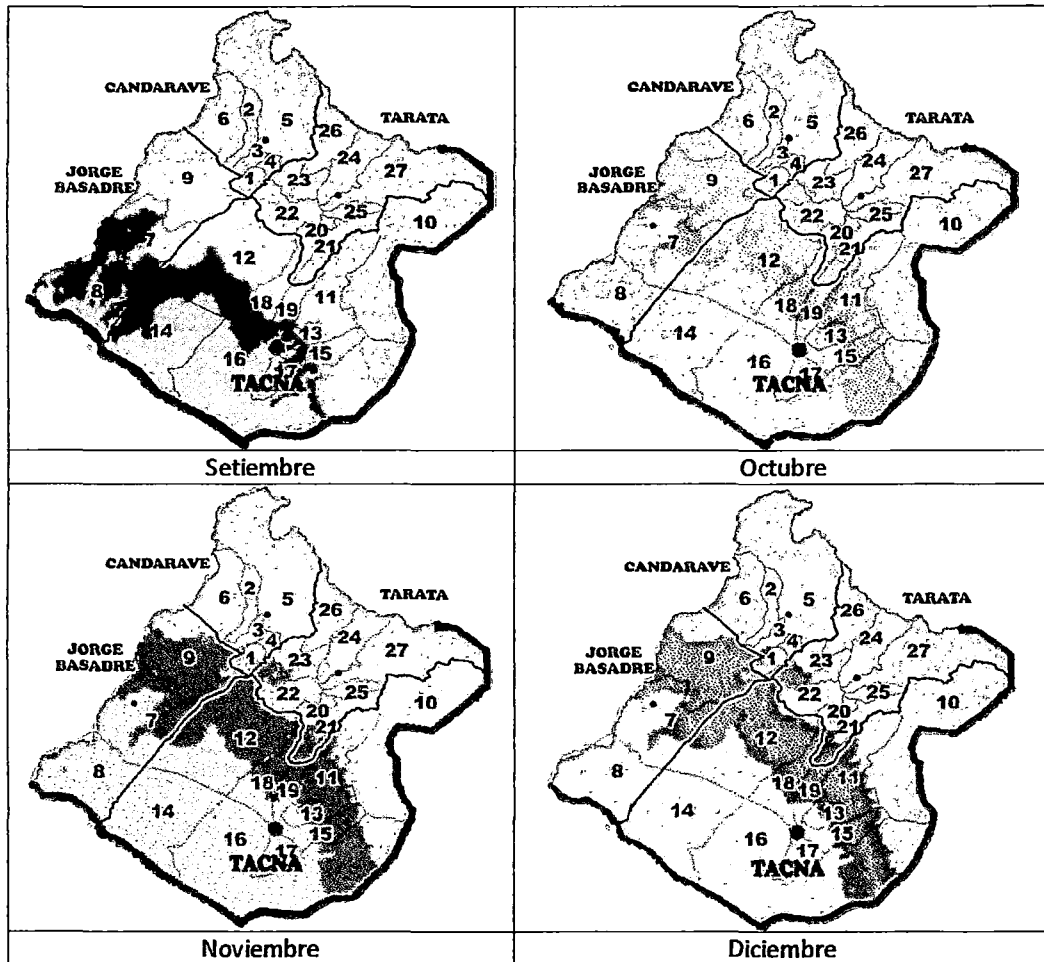


Figura 60: Mapas energético solar global en valores promedios mensuales de la energía solar incidente sobre una superficie horizontal para la región Tacna, periodo 1975–1990, meses de Setiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre, en código de colores

Fuente: SENAMHI, DEP- MEM (2002) – Elaboración propia (2012)