



## EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL PACÍFICO A LO LARGO DEL PERÍODO INSTRUMENTAL

**M<sup>a</sup> Eugenia Pérez González**

**M<sup>a</sup> Pilar García Rodríguez**

Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física (UCM)  
meperez@ghis.ucm.es; mpgarcia@ghis.ucm.es

Recibido: 1 de Diciembre de 2006

Aceptado: 7 de Mayo de 2007

### RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo analizar la temperatura del aire en numerosas islas del océano Pacífico. Se tratarán los datos ofrecidos por las estaciones termométricas de 27 islas, durante el período instrumental, época que oscila de 32 a 122 años. La evolución de la temperatura media anual y de la anomalía térmica respecto a la media de la treinta 1961-90 en todas las islas muestra una gran disparidad de tendencias lineales. Existe casi un 50 % de series de temperatura en las que las tendencias son claramente positivas, con incrementos entre 0,7° y 2,3° C/siglo, y un porcentaje similar con tendencias estables o negativas. Debido a la falta de unanimidad o mayoría en las tendencias las temperaturas del Pacífico no pueden apoyar la hipótesis del "Cambio Climático".

**Palabras clave:** Temperatura, Océano Pacífico, cambio climático, tendencias.

### TEMPERATURE EVOLUTION IN THE PACIFIC OCEAN DURING THE MONITORED PERIOD

### ABSTRACT

The aim of this paper is the analysis of the air temperature in numerous islands of the Pacific Ocean. Thermometric data from 27 islands, along instrumental period, ranging from 32 to 122 years, will be studied. The evolution of the annual average temperature and the thermal anomaly respect to the 1961-90 period in all the islands displays a great disparity of lineal tendencies. There is near a 50 % of the temperature series in which exist in which the tendencies are clearly positive, with an increase between 0.7° and 2.3° C/Century and a similar percentage with stable or negative tendencies. Thus, due to the lack of unanimity or a clear trend of the statistical tendencies, the temperature of the Pacific Ocean cannot support the hypothesis of the *Climatic Change*.

**Keywords:** Temperature, Pacific Ocean, climatic change, tendencies.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde 1990, fecha en la que se emite el primer Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), los trabajos, conferencias y difusión sobre este tema han mantenido una progresión exponencial. Los artículos científicos sobre la posibilidad de un cambio climático antropoinducido confirman, en su mayoría, esta hipótesis (Lindzen, 1990; Balairón, 2000, Cañada et al., 2001; Folland, 2001; Kumar *et al.*, 2005) y, sólo unos pocos autores son críticos con dicho planteamiento (Jones et al. 1999; Almarza, 2000; Sanz Donaire, 2002 y 2006; Pérez González, 2006; Kim and Choi, 2006; Miró *et al.*, 2006; Pérez y García, 2006 y en prensa, etc.).

En este trabajo se analiza la temperatura media superficial por ser el parámetro fundamental en el que se apoya la tesis del "Cambio Climático", cuyas variaciones significativas podrían desencadenar transformaciones en el actual ecosistema terrestre. Resulta sorprendente la gran cantidad de series termométricas que tienen datos de temperatura media desde los inicios del período instrumental (fecha que se inicia en el siglo XVIII en algunas estaciones europeas y que se pospone en la mayor parte del globo hasta la segunda mitad del siglo XIX). Hay instituciones, entre las que destaca la norteamericana NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), que han realizado un valioso trabajo de recopilación de datos de todo el mundo. Parte de los autores de estos trabajos, entre los que destacan Peterson y Easterling, en 1994; Peterson *et al.* en 1997 y, Jones y Moberg en 2003 han homogeneizado y realizado controles de calidad de los datos que se ponen al servicio de los usuarios a través del departamento comercial de la NOAA. Otros han analizado muchas de las series termométricas con resultados dispares según se consideren los datos a escala global o regional (Jones *et al.* 1999; Christy *et al.*, 2001; Rayner *et al.* 2003).

Las series de temperatura superficial más completas (las que permiten *a priori* un mejor conocimiento de la evolución temporal de cualquier parámetro climático) se localizan en su mayor parte en grandes ciudades, donde las infraestructuras y posibilidades de muestreo suelen ser mayores que en ámbitos rurales o, en aquellos lugares alejados de cualquier población, tal y como ocurre en las bases de investigación de regiones polares o en algunos desiertos. Así, cuando se quiere seleccionar estaciones no urbanas su proporción y distribución frente a las urbanas es francamente minoritaria. Sin embargo, al analizar las tendencias de la temperatura del aire superficial para conocer si hay o no aumento de temperatura la mayor parte de trabajos sólo toman en consideración las series más robustas desde el punto de vista estadístico, que no de localización ni desde el punto de vista de la lógica. Es por ello, que aquí quiere analizarse la evolución de la temperatura a partir de casos individuales para comprobar si existe unanimidad en las tendencias de la temperatura superficial. Esto es, se prefiere el método inductivo, tedioso en el análisis particular de estaciones, pero que podrá avalar o rechazar el tan afirmado calentamiento del planeta.

Este trabajo se centra en islas del Océano Pacífico por considerar que, a priori, la gran masa oceánica debería ejercer un papel amortiguador de los efectos locales del emplazamiento de las estaciones meteorológicas. Es cierto que la mayor parte de las islas son de origen volcánico, de gran actividad, cuyos gases igualmente incidirán en las variaciones temporales de temperatura, pero éstas no tienen porqué seguir tendencias ascendentes positivas.

En el análisis de las series de temperatura se hará hincapié en la localización geográfica de las estaciones, ámbito urbano o rural en el que se ubican, tipo de entorno, transformaciones del mismo, etc. Para ello, se han utilizado imágenes de satélite ya que la actual facilidad para disponer de imágenes con resoluciones espectrales y espaciales aceptables facilita la observación de lugares que, de otro modo, serían difíciles de

analizar, dada su situación geográfica. Así, la teledetección es un instrumento muy útil para conocer la situación de las estaciones meteorológicas y analizar la influencia que los distintos factores ambientales y antrópicos pueden ejercer sobre la temperatura superficial. Los diferentes canales de los sensores permiten apreciar distintos elementos del medio: las bandas visibles y la pancromática son útiles para ver la distribución del entramado urbano y el espacio que ocupan las diferentes infraestructuras. Las bandas infrarrojas permiten una mejor discriminación de la vegetación y de su actividad clorofílica. Con estas imágenes podemos conocer si la estación se encuentra en las proximidades de una ciudad, el tamaño de ésta y su distribución espacial, presencia de instalaciones industriales y militares, si existen cerca áreas con vegetación natural y las características de las mismas, así como los cambios que hayan podido acaecer en la misma: sustitución de vegetación natural por cultivos (tipo y proporción de éstos), superficies deforestadas, etc. Esta técnica se ha divulgado desde los años 80 y 90 debido al gran desarrollo de la informática y al lanzamiento de numerosos satélites de recursos naturales: Landsat, Spot, Irs, Ers, etc. En los últimos años el lanzamiento de satélites con una gran resolución espacial: Ikonos, Quick Bird, etc. permite hacer un análisis mucho más detallado de la situación de las estaciones, si bien el precio de estas imágenes hace difícil su divulgación y utilización para el personal investigador.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio recoge los datos de temperatura superficial de las estaciones meteorológicas existentes en las islas del Océano Pacífico, tanto del hemisferio norte como del sur, con un período de muestreo superior a treinta años. La localización geográfica y la extensión de las series temporales se recogen en la figura 1 y en el cuadro 1.

Cuadro 1. Localización de las estaciones meteorológicas del Pacífico.

<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Serie temporal</b>	<b>Nº años</b>
<b>Islas Hawaii</b>					
Kauai-Lihué	21° 59' N	159° 21' W	45 m	1905-2004	100
Oahu-Kaneohe	21° 27' N	157° 47' W	3 m	1945-2003	59
Oahu-Honolulu	21° 18' N	158° 06' W	2 m	1883-2004	122
Isla Grande-Hilo	19° 43' N	155° 04' W	11 m	1905-2004	100
<b>Islas Midway</b>					
Atolón Midway	28° 13' N	159° 21' W	45 m	1921-1991	71
<b>Micronesia</b>					
Yat Caroline	9° 29' N	138° 04' E	17 m	1922-2005	84
Ponape	6° 59' N	158° 13' E	46 m	1941-2002	62
Truck	7° 28' N	151° 51' E	2 m	1951-2002	52
Wake	19° 17' N	166° 39' E	4 m	1946-2004	59
<b>Islas Kiribati</b>					
Tarawa	1° 21' N	172° 55' E	4 m	1951-1997	47
<b>Islas Marshall</b>					
Majuro	7° 05' N	171° 22' E	3 m	1955-2005	51
Kwajalein	8° 44' N	167° 44' E	8 m	1946-2005	60
<b>Islas Salomón</b>					
Honiara	9° 25' S	159° 58' E	56 m	1951-1989	39
<b>Islas Norfolk</b>					
Norfolk	29°02'S	167° 55' E	109 m	1915-2004	90
<b>Nueva Caledonia</b>					
Noumea	22° 16' S	166° 27' E	72 m	1941-2005	65
Koumac	20° 34' S	164°16' E	18 m	1951-2005	55
<b>Islas Coral</b>					
Willis	16° 18' S	149° 59' E	9 m	1939-2004	66
<b>Islas Fidji</b>					
Ono-I-Lau	20° 40' S	178° 43' W	28 m	1945-2004	60

Laucala Bay	18° 09' S	178° 27' W	9 m	1921-1981	61
Rotuma	12°30' S	177° 03' W	26 m	1933-2005	73
Nausori	18° 03' S	178° 34' W	7 m	1972-2003	32
Undu Point	16° 08' S	179° 59' W	63 m	1951-2002	52
<b>Tuvalu</b>					
Funafuti	8° 31' S	179° 13' E	3 m	1933-2003	71
<b>Islas Cook</b>					
Rarotonga	21° 12' S	159° 49' W	7 m	1907-2004	98
<b>Islas Samoa</b>					
Apia	13° 48' S	171° 46' W	2 m	1890-1994	105
<b>Wallis</b>					
Hihifo	13° 13' S	176° 08' W	27 m	1950-2005	56
<b>Polinesia</b>					
Tahiti	17° 33' S	149° 37' W	2 m	1935-2004	70

En cada una de las series se analiza la evolución temporal de la temperatura media anual, la tendencia lineal y sus principales estadísticos, cuyos valores se expresan en el Cuadro 2. También, de cada estación se representa las anomalías térmicas respecto a la media del período y respecto a la media de la última treintena CLINO; esto último, sólo en las estaciones que disponen de al menos tres treintenas

Cuadro 2. Estadísticos de la tendencia de la temperatura en el Pacífico

Nombre	Significación	ANOVA-Valor P	Pendiente	Coef. Corre.	R <sup>2</sup>
<b>Islas Hawaii</b>					
Kauai-Lihué	Si al 99 %	0,00	+0,023	0,85	72,49
Oahu-Kaneohe	Si al 95 %	0,02	+0,016	0,36	13,32
Oahu-Honolulu	Si al 99 %	0,00	+0,019	0,88	77,68
Isla Grande-Hilo	Si al 99 %	0,00	+0,017	0,44	19,79
<b>Islas Midway</b>					
Atolón Midway	Si al 99 %	0,00	+0,015	0,55	30,29
<b>Micronesia</b>					
Yat Caroline	No al 90 %	0,44	+0,001	0,09	0,77
Ponape	Si al 99 %	0,003	+0,007	0,39	15,17
Truck	Si al 99 %	0,007	+0,007	0,37	13,42
<b>Wake</b>	Si al 99 %	0,000	+0,001	0,49	24,13
<b>Islas Kiribati</b>					
Tarawa	Si al 95 %	0,026	-0,007	-0,33	10,81
<b>Islas Marshall</b>					
Majuro	Si al 99 %	0,000	+0,012	0,58	34,18
Kwajalein	No al 90 %	0,107	+0,004	0,21	4,42
<b>Islas Salomón</b>					
Honiara	No al 90 %	0,94	+0,000	0,12	0,10
<b>Islas Norfolk</b>					
Norfolk	Si al 90 %	0,09	-0,003	-18,18	3,31
<b>Nueva Caledonia</b>					
Noumea	No al 90 %	0,79	-0,001	-0,32	10,6
Koumac	Si al 99 %	0,00	+0,013	52,9	28,01
<b>Islas Coral</b>					
Willis	No al 90 %	0,99	+0,000	0,008	0,006
<b>Islas Fidji</b>					
Ono-I-Lau	No al 90 %	0,75	+0,001	0,47	22,14
Laucala Bay	No al 90 %	0,14	+0,004	19,21	3,69
Undu Point	Si al 95 %	0,04	+0,008	40,12	16,09
Nausori	Si al 95 %	0,03	+0,014	39,85	15,88
Rotuma	Si al 99 %	0,00	+0,011	65,78	43,28
<b>Tuvalu</b>					
Funafuti	Si al 95 %	0,02	-0,004	-28,34	8,04
<b>Islas Cook</b>					

Rarotonga <b>Islas Samoa</b>	Si al 99 %	0,00	+0,007	48,56	23,59
Apia <b>Wallis</b>	Si al 99 %	0,00	+0,008	60,31	36,37
Hihifo <b>Polinesia</b>	No al 90 %	0,29	-0,003	-15,09	2,3
Tahiti-Faaa	No al 90 %	0,31	+0,003	12,35	1,52

Además, se han utilizado seis imágenes del satélite Landsat 7, sensor ETM+ (Cuadro 3) para localizar las estaciones meteorológicas y analizar las características de su entorno. Este sensor tiene una resolución espacial media: 30 metros para las bandas del color visible e infrarrojo y 15 m para el pancromático de las imágenes y una resolución espectral útil (8 canales) para los objetivos del estudio. Las imágenes se han tratado con el programa ERDAS Imagine 8.6: se han georreferenciado a coordenadas UTM (lo que permite medir distancias y áreas de diferentes cubiertas) y se han sometido a diferentes mejoras (radiométricas, espaciales y espectrales) con el fin de mejorar su visualización. Entre las mejoras destaca la obtención del Índice de la Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) que se obtiene mediante el cociente entre la diferencia de los canales 4 y 3 y la suma de los mismos, y la combinación entre diferentes canales espectrales (habiéndose obtenido los mejores resultados con las combinaciones 3-2-1, 4-3-2, 5-7-2, algunas de las cuales se han seleccionado para las figuras incluidas en este trabajo).

Cuadro 3. Imágenes seleccionadas.

Situación	Satélite	Sensor	Escena	Fecha
Hawaii	Landsat 7	ETM +	65-45	02-01-2000
Micronesia	Landsat 7	ETM +	104-53	23-02-2001
Norfolk	Landsat 7	ETM +	79-80	24-03-2000
Islas Fidji	Landsat 7	ETM +	74-73	04-02-2001
Islas Cook	Landsat 7	ETM +	60-75	24-08-1999
Polinesia	Landsat 7	ETM +	53-72	06-06-2000

### 3. RESULTADOS

Los resultados del estudio de la temperatura superficial en el Pacífico se exponen en orden geográfico, de norte a sur y desde la fachada oriental del Pacífico a la occidental. La localización geográfica de las islas seleccionadas en este estudio se representa en la Figura 1. De cada serie temporal se representan los gráficos con los valores reales de la temperatura superficial y las anomalías respecto a los valores medios de la última treintena. Para los casos más significativos se incluyen, también, las imágenes de satélite y, a partir de ellas, se tratará de explicar el emplazamiento más reciente de cada estación meteorológica.

Estas imágenes se han utilizado con el fin de comprobar si existe influencia entre las variaciones en los valores térmicos y los distintos parámetros ambientales y, por tanto, si están muy afectadas por la acción antrópica y/o natural: proximidad a núcleos urbanos y tamaño de éstos, áreas turísticas, actividades industriales, volcanes activos, altitud y topografía etc. También se analiza el uso y ocupación de los suelos con el fin de comprobar si pueden jugar un papel importante en las variaciones de las temperaturas: características de la vegetación natural, terrenos cultivados, infraestructuras urbanas y grado de urbanización, áreas degradadas, etc.

## PACÍFICO NORTE

### Islas Hawai

Las islas más septentrionales del Pacífico Occidental disponen de siete series temporales distribuidas en cuatro islas: Grande, Mauri, Oahu y Kauai. De todas ellas la serie más extensa es la de Honolulu, situada en la isla de Oahu. Es la tercera más grande del archipiélago y la que tiene una mayor densidad de población, 1674 hab/km<sup>2</sup>. La población total es de 874.000 habitantes y cabe destacar un gran crecimiento entre los años 70 y 90 (30%), aunque dicho incremento ha sido más notable en las áreas periféricas que en *Honolulu*. Esta ciudad concentra la principal población de la isla, con 371.557 habitantes según el censo del año 2000. Indudablemente es una ciudad grande, con alta densidad de población y superficies asfaltadas, hecho que afecta a buena parte del término municipal de Honolulu, donde queda localizada la estación meteorológica actual. Estas características son visibles en la imagen de la fig. 2 correspondiente al sensor ETM+ del satélite Landsat 7, en la escena 65/45, con fecha 2-enero-2000. La ciudad destaca en la imagen por el entramado regular de sus calles y contraste cromático con su entorno; Honolulu está situada al sur de la isla y al suroeste del volcán Koolau. La banda costera del sur de la isla es el único sector altamente urbanizado y esto se refleja en la imagen de satélite en cualquier mezcla de bandas.

La combinación 4-3-2 (Fig.2 a) permite observar que toda la isla tiene una densa vegetación (tonos rojos en esta mezcla, verdes en color natural 3-2-1), con valores digitales muy elevados en la banda cuatro, salvo en los sectores urbanizados, la mayoría correspondientes al término de Honolulu y a los depósitos volcánicos de las laderas del cono, en los que la vegetación es más escasa. Existen parcelas de cultivo, si bien la mayor parte de la vegetación es natural, correspondiente a bosques tropicales (pluviisilva), con una exuberante vegetación. El canal del infrarrojo cercano de la imagen Landsat (banda 4, Fig. 2b) es el que mejor permite distinguir las características de la isla y las diferentes ocupaciones del suelo. En general, la información obtenida en todos los canales infrarrojos es mejor para diferenciar las diferentes coberturas del suelo (vegetal, depósitos volcánicos y entramado urbano) que la obtenida en los canales visibles.

La estación meteorológica está próxima a uno de los aeropuertos (coordenadas 21° 18' N – 158° 06' W), en el borde del mar. En las proximidades de la ciudad son más abundantes las parcelas cultivadas y los campos de golf, claramente destacables en las bandas 4-3-2 del satélite.

Cabe preguntarse hasta qué punto una ciudad de estas características, insular, litoral, pero con alta densidad de población y entramado urbano compacto, pueden modificar las temperaturas regionales. Los dos primeros factores invitan a la idoneidad de la serie para estudios evolutivos de la temperatura superficial, mientras que los dos últimos son de claro signo opuesto.

La serie temporal, de 1883 a 2004, (Fig. 2c) muestra un incremento indiscutible de la temperatura media anual, ascenso que se inicia en 1920 y adquiere una pendiente significativa desde la década de los sesenta. La tendencia muestra una representatividad del 77,6 %, valor obtenido de la R<sup>2</sup> de la tendencia lineal, por lo que el incremento de la temperatura superficial ha sido de 2° C ó 0,17° C/década. Este comportamiento queda reflejado en el gráfico de las anomalías de la temperatura media anual con valores negativos desde el inicio de la serie hasta finales de los años cincuenta y predominantemente positivos hasta la actualidad.

La serie temporal de *Kaneohe* de la misma isla (Fig. 2d), pero en la costa oriental y rodeada de pluviisilva, presenta un comportamiento de la temperatura superficial

diferente a Honolulu, si bien tiene frecuentes huecos. Sin embargo, pese a esta deficiencia, sí permite registrar los valores máximos en la década de los ochenta, mientras que las temperaturas medias anuales más reciente (segunda mitad de los noventa y primeros años del s. XXI) son del mismo orden que las registradas en los años sesenta y setenta del pasado siglo. No obstante, el peso del incremento de la temperatura media entre 1978 y 1994 repercute en una tendencia positiva, de 1,6° C/siglo, aunque con escasa representatividad (13,32 %; Cuadro 2).

La isla más septentrional de Hawaii dentro de latitudes tropicales es *Kauai* y dispone de una serie casi centenaria, *Lihue* (Fig. 2e). En la evolución temporal de la temperatura media anual llama la atención el intenso incremento desde los inicios del siglo veinte hasta los años setenta, que alcanza los 2,3° C/siglo. Esta cifra es el máximo registrado en el Pacífico, con un valor muy superior al resto de estaciones (Cuadro 2). Sin embargo, durante los últimos treinta años de registro la temperatura muestra una tendencia central levemente descendente, destacando los máximos registros en 1984 y 1974. En estas décadas la tendencia es de sólo -0,03° C/década. Así, el conjunto de la serie muestra una tendencia lineal claramente positiva, con una representatividad del 72,5 %.

La única serie temporal de la isla, localizada en la ciudad de Hilo (Fig. 2f), tiene un incremento de 0,13° C/década entre 1905 y 1966; desde estas fechas los valores centrales de temperatura se mantienen constantes, tal y como se ha señalado anteriormente. La pendiente de la tendencia lineal es claramente ascendente, con una representatividad del 19,8 % y los gráficos de las anomalías de la serie, muestran valores claramente inferiores a las medias (de toda la serie, 1905-2004 y de la treintena 1961-1990), hasta los inicios de los años sesenta y una alternancia entre valores positivos y negativos desde dicha década hasta la actualidad, sin que se aprecien síntomas de un crecimiento progresivo de la media anual.

Cabe destacar que en la Isla Grande está configurada por grandes volcanes: el Mauna Kea y Mauna Loa, con más de 4.000 m de altura y por el volcán Kilauea. Este es el volcán más activo del mundo y está en continua erupción desde 1983, por lo que no ha dejado de emitir lava y gases, hecho que sin duda tendrá que influir en los valores de temperaturas.

Así, se aprecian rasgos similares en tres estaciones hawaianas, Lihué, Hilo y la segunda estación de Honolulu, aunque en ésta la serie temporal es más corta. En ellas los valores centrales de la temperatura apenas varían en las tres últimas décadas, pese a que la variabilidad interanual oscile entre 0,3 y 1,5° C. Esto parece responder a un nuevo equilibrio térmico en valores altos, que no a ascensos progresivos indefinidos en la temperatura superficial, que es lo que plantean los modelos de predicción del "Cambio Climático". El mantenimiento de la temperatura media anual en valores altos o su pequeño descenso a lo largo de las últimas décadas son tendencias ya observadas en otras ciudades litorales, como es el caso de Bombay, Buenos Aires o Sau Paulo (Pérez González, 2006), aunque éstas son evidentemente grandes megalópolis.

El hecho de que la evolución de la temperatura anual no sea progresiva de principio a fin de la serie y, que estas diferencias se adviertan en ciudades muy dispares del globo, nos permite considerar, al menos a algunos, al sistema Tierra-atmósfera con capacidad de autorregulación, con cambios en muchos de sus parámetros, sin que por ello tengamos que aceptar las teorías catastrofistas sobre el clima.

## **Islas Midway**

El atolón Midway, de origen volcánico y con importantes arrecifes de coral, tiene una serie temporal de 70 años, entre 1921 y 1991. Su evolución muestra temperaturas medias anuales ascendentes a lo largo del siglo pasado, con una representatividad de la tendencia lineal del 30 %. El incremento de la temperatura media anual ronda 1,5° C/siglo, con aumentos acusados y casi continuados desde los inicios de los años sesenta (Fig. 3 y Cuadro 2). Pese a su pequeño tamaño (menos de 5 km<sup>2</sup>) y escasa población permanente, la isla ha sido fuertemente alterada, con gran actividad aeroportuaria y naval, y transformación de especies vegetales (con numerosas especies importadas de Australia) en torno al 75 %. Nuevamente cabe preguntarse si estos cambios son suficientes para ejercer variaciones antrópicas locales a la variabilidad natural del clima; por un lado la alteración es alta, pero el territorio muy pequeño frente al mayor océano del planeta, evidentemente con un volumen e inercia muy superiores. Por ello, esta isla sería un buen ejemplo para explicar la hipótesis del calentamiento del planeta.

## **Micronesia**

Estas islas se sitúan en el Pacífico oriental, al norte del Ecuador y al este del Mar de Filipinas. La federación de estados de Micronesia tiene, según el censo del año 2000, 107.000 habitantes, con un incremento de 24.000 respecto al censo de 1980. Hasta entonces, la población se había incrementado de forma mucho más lenta.

La estación analizada en la isla de Yap es la que se localiza en el sector más al noroeste de todas las seleccionadas en este trabajo. La isla de Yap está en una dorsal, próxima al borde de la fosa de las Marianas, entre Palau y Guam, con una costa bañada por el Mar de Filipinas y otra por el océano Pacífico. Su población es de unos 11.000 habitantes. La estación meteorológica se localiza en Yat Caroline, próxima al aeropuerto, en el sur de la isla. Yap está rodeada de arrecifes y destaca por la presencia de bosques de manglares y un amplio lagoon.

La imagen analizada corresponde a la escena 104-53 del sensor ETM+, con fecha 23 de febrero de 2001 (Fig. 4 a). Esta isla, desgajada del continente, está formada por la unión de cuatro pequeñas islas, rodeadas de una amplia barrera de coral, claramente visible en todas las bandas del sensor. Además, ya en tierra, hay una orla con características pantanosas y presencia de densos manglares. No obstante, la acción antrópica es significativa, con amplias superficies deforestadas, ocupadas por infraestructuras tanto viarias como industriales, urbanas y muy posiblemente militares. La alteración del medio natural es más notable en el área próxima al aeropuerto y, en general, en el sur de la isla y extremo norte. La vegetación es más densa en áreas costeras constituyendo densos bosques tropicales. La erosión, pérdida del suelo y de la vegetación natural se observa mejor en las bandas visibles y, sobre todo, en la banda 7 del infrarrojo (Fig. 4 a). Respecto a las combinaciones de bandas se ve mejor en color natural 3-2-1 y en cualquier falso color en la que se incluya el canal 7. Esta isla, a diferencia de la mayor parte de las islas del entorno, está formada por materiales sedimentarios, fundamentalmente pizarras, por lo que no hay actividad volcánica (Palau más al sur, pero muy próxima, sí es volcánica). De este modo, la serie temporal tiene a su favor la ausencia local de actividad volcánica, su carácter insular (estación a 4 m snm) y que, pese a la deforestación de algunos sectores de la isla, todavía conserva grandes superficies naturales.

Yat Caroline tiene una serie bastante completa de 1922 a 2005, con un hueco entre 1944 y 1948 que, ante la ausencia de estaciones cercanas, se ha optado por no rellenar (Fig. 4 b). La evolución temporal registra oscilaciones



interanuales inferiores a 1° C, propias de estaciones insulares llanas. En ella, se observa un descenso de la temperatura media sólo interrumpido en los años 2004 y 2005, fechas en la que se registran los valores máximos, aunque similares al de 1950. Frente a esto, también el valor más bajo de la media anual se registra en fecha reciente, 1999. Por tanto, y a excepción de los dos últimos años comentados el resto de la serie se define como estable o decreciente. En el cuadro 2, puede observarse que la recta de regresión no tiene significación estadística al 90 %, con una pendiente de 0,001 (0,1° C/siglo). Es evidente que, en esta isla la temperatura a lo largo de su período instrumental no es ascendente, por lo que no puede apoyar la hipótesis de un calentamiento general.

La estación de *Ponape*, se localiza a 6° 58'N, 158°12' E y a 46 m, tiene datos entre 1941-1991 y 1951-2003, con casi idénticos datos en los años coincidentes, por lo que se han agrupado en una sola serie (Fig. 4 c). La evolución de la temperatura media anual muestra valores bajos en los inicios de los años cuarenta y los años más cálidos en los primeros ochenta. Coincide con la estación anterior en la fecha del registro mínimo, 1999. Cabe destacar un incremento reciente de la variabilidad térmica interanual, especialmente acentuado entre 2000 y 2001 (de 0,9° C), aunque este dato no se repite en los años contiguos, ni anteriores ni posteriores. El conjunto de la serie ofrece una recta de regresión significativa al 99 %, con una tendencia positiva de 0,7° C/siglo, aunque su representatividad es baja, con 15,2 %.

La isla de *Truck* está situada a 700 km al noroeste de Ponape y tiene una sola serie de 1951 a 2003. Pese a la distancia mencionada entre las dos islas, su carácter oceánico hace que no difieran más de unas décimas en sus valores anuales por lo que se ha optado por representar en el mismo gráfico que Ponape (Fig. 4 c). La variabilidad interanual es muy similar entre ambas, por lo que vuelve a repetirse el mínimo de 1999 y los máximos de los primeros años ochenta, que en esta isla se extiende hasta 1988, año en el que se recoge el máximo de la serie. A partir de aquí, se produce un descenso casi progresivo de la temperatura media anual, sólo interrumpido en el año 2000. En general la serie muestra dos tendencias centrales a lo largo de las cinco decenas analizadas. Una ascendente que abarca el período 1965-1988 y, otra descendente desde 1989 a la actualidad. No obstante, si se aplica una recta de regresión a toda la serie el resultado es una pendiente positiva de 0,007 (0,7° C/siglo), debido al mayor peso del primer período, aunque la representatividad de esta tendencia es de sólo el 13,4 % (Cuadro 2).

Así, las tres islas microneésicas, separadas por 20° de longitud (en torno a 2000 km) y 2,5° de latitud (unos 280 km), pueden servir de instrumento para avalar o invalidar la tesis del cambio climático. En el caso de no ofrecer los valores de R<sup>2</sup> de las tendencias lineales bien puede parecer que son ascendentes, cuando en realidad la representatividad es siempre muy baja y está muy influenciada por las temperaturas altas de los años ochenta.

La isla *Wake*, situada casi en el centro del Pacífico norte, es un atolón constituido por tres islas a partir de un volcán subacuático. Tiene un área de 6,5 km<sup>2</sup> y su punto más alto está a 6 metros snm. Debido a su posición estratégica ha sido dedicada a fines militares. Su población fija se reduce a unos 200 habitantes. La estación meteorológica tiene una serie de 1946 a 2004 (Fig. 5). En ella, se advierte una gran estabilidad de la tendencia central de la temperatura anual hasta los inicios de los años ochenta, fecha en la que experimenta un ascenso en torno a 1° C respecto a las décadas anteriores. No obstante, los valores termométricos de los cuatro años del siglo XXI analizados arrojan medias muy similares al resto de la serie temporal, por lo que el ascenso de los años ochenta y noventa, bien parece una anomalía positiva de la serie, que no el acicate en que apoyar la tesis que confirme el cambio climático. La recta de regresión si es significativa al 99 % con

una pendiente de 0,001 (0,1° C/siglo), lo que bien puede definirse como ausencia de tendencia o estabilidad de la evolución de la temperatura media anual.

Las islas *Kiribati*, muy próximas al ecuador y al meridiano de cambio de fecha tienen la capital en el atolón de Tarawa. Este atolón está constituido por veinticuatro islas (ocho de ellas deshabitadas), con una población de unos 29.000 habitantes. La estación meteorológica se sitúa en el sur del atolón, próxima al aeropuerto, en la ciudad de Bonriki. Esta estación tiene 46 años de datos casi interrumpidos (Fig. 6). En ellos la temperatura media es claramente descendente desde los años cincuenta a finales de los noventa. La disminución de la media anual es de 0,5° C. La figura 6, que representa la anomalía térmica respecto a la media del período muestra valores máximos en los inicios de los años cincuenta y mínimos en la década de los setenta. La recta de regresión muestra que la tendencia negativa sí es significativa al 95 %, con valores de -0,7° C/siglo, aunque también con escasa representatividad (Cuadro 2). Por tanto, esta estación casi ecuatorial, aunque con una serie temporal pequeña, tampoco puede avalar la tesis del cambio climático.

Las islas **Marshall** tienen dos series temporales en las islas de Kwajalein y Majuro (Fig 7). La primera constituye un archipiélago de pequeñas islas sin población civil, dedicadas a usos militares. La temperatura media muestra una evolución temporal bastante estable, con dos momentos: 1951-53 y 2002-2005, en los que la temperatura media es en torno a 0,5° C superior al resto de la serie. En estos años se registra también la mayor diferencia interanual, que es casi idéntica en los dos intervalos: 1,22° C en el primero y 1,20° C en el segundo. Si bien la máxima histórica es actual, en el año 2004. La figura 7 a, refleja que las anomalías máximas positivas y negativas son muy similares, en torno a los 0,7° C respecto a la media. La recta de regresión no es significativa estadísticamente al 90 %, con leves incrementos de la media anual de 0,4° C/siglo.

La capital de las islas Marshall, Majuro, está situada en un atolón formado por sesenta y cuatro islas que tienen 9,7 km<sup>2</sup>, alrededor de una laguna de 295 km<sup>2</sup>. La población en el año 2004 es de 25.400 habitantes. La estación localizada junto al aeropuerto muestra una tendencia lineal claramente ascendente, aunque los valores medios son más estables hasta finales de los ochenta y la última década tiene un incremento térmico de 0,7° C, (Fig. 7b). La recta de regresión muestra un ascenso térmico de 1,2° C/siglo, con una significación estadística de 99 % y una representatividad del 34,2 %, (Cuadro 2)

## PACÍFICO SUR

Las **Islas Salomón** están constituidas por numerosas islas con una extensión total de 28.450 km<sup>2</sup> y una población de unos 500.000 habitantes. En la isla de Guadalcanal se sitúa la capital, Honiara (9°,25'S 159°,58'E y 56 m snm), con 60.000 habitantes. En ella se localiza la estación meteorológica con la serie temporal más larga, ya que tiene datos desde 1951 a 2000, mientras que el resto de estaciones sólo abarcan 20 o 30 años; sin embargo, sobre el último decenio apenas se ofrecen registros (con lagunas mensuales de 8 a 10 meses), por lo que no pueden conocerse los datos más recientes (Fig. 8). Los valores anuales de temperatura en la capital de la provincia central de las Islas Salomón reflejan una variabilidad interanual pequeña, en torno al 0,5-0,7° C, propia de climas ecuatoriales. Sin embargo, llama la atención la tendencia lineal claramente estable, sin que se puedan apreciar cambios en las cuatro decenas analizadas. Al realizar la recta de regresión simple, esta serie no resulta estadísticamente significativa al 90% de confianza, por tener un valor P en el test de ANOVA de 0,94 (Cuadro 2). Este parámetro corrobora la estabilidad de la serie temporal.

La **Isla Norfolk**, situada entre Nueva Zelanda y Australia, próxima a la cuenca de Nueva Caledonia, pertenece a Australia y su capital es Kingston. Tiene 34,6 km<sup>2</sup>, constituidos por materiales volcánicos, y una altitud máxima de 319 m sin apenas tierras cultivadas, ya que predomina la actividad ganadera sobre la agrícola y, por tanto, hay más tierras dedicadas a pastos. Destacan también los bosques de pinos y palmeras característicos del clima subtropical húmedo. Esta isla según censo de 2005 tiene 1828 habitantes, por lo que la presión antrópica no debe ser grande.

En la imagen del sensor ETM+ escena 79-80, de 24 de marzo de 2000 se observa que la isla apenas está urbanizada, ya que gran parte de su costa es muy acantilada (Fig. 9 a). Sólo en el sur no hay costas abruptas y allí se sitúa la capital y, próximo a ella, se encuentra el aeropuerto y la estación meteorológica. En el extremo opuesto de la isla se asienta la ciudad de Cascade y, en el interior, Burn Pine. En el resto de la isla en la imagen de satélite no se puede detectar rastro de áreas urbanizadas. No obstante, la acción antrópica se centra en la transformación de bosques de pluvisilva por cultivos en secano y pastos (25 %) destinados a la ganadería. La vegetación natural está constituida por bosques subtropicales con especies características (pinos, araucarias, palmeras, etc.) en los que se aprecian enclaves de áreas menos recubiertas o erosionadas. Los valores digitales de la banda 4 (la que recoge la mayor actividad clorofílica) son más altos en el norte y, especialmente, noroeste de la isla, único lugar donde se observa una amplia mancha de bosque subtropical (Parque Nacional de la Isla Norfolk), destacable en la imagen obtenida mediante el NDVI (Fig. 9b). Por el contrario, el sur está más degradado, con menos vegetación y amplias áreas pantanosas. La influencia humana en los valores de temperatura no parece notable, salvo que ésta provenga de las grandes islas cercanas (Australia y Nueva Zelanda).

La serie temporal de temperatura media dispone de datos de 1915 al 2004 (Fig. 9c). Los valores más elevados de la serie se dan los dos primeros años de registro, por lo que, junto a la gran estabilidad de la temperatura en los años posteriores ofrece una tendencia lineal descendente o negativa (-0,29° C/siglo, con un nivel de confianza del 90 %, cuadro 2). Llama la atención que la variabilidad máxima de los registros de temperatura pueda producirse en años casi consecutivos, como señala los valores extremos de los años 1938 y 1940. También, se destaca en la figura 9c la gran similitud entre las anomalías respecto a la media del período 1961-1990 y respecto a la media de todo el período, 1915-2004. Esta figura no puede más que confirmar la ausencia de tendencia, o tendencia estadísticamente negativa, casualmente en una estación con poca o nula influencia antrópica.

El territorio de **Nueva Caledonia** localizado en el mar del Coral y al este de Australia, dispone de dos series temporales situadas en las ciudades de **Noumea y Koumac**. La primera es la capital, en el sudeste de la isla "Grande Terre", con 91.000 habitantes alcanzando 146.000 en su área metropolitana. Esta ciudad es la que ha experimentado un mayor crecimiento en los últimos años y es uno de los núcleos con mayor industria en el Pacífico Sur. Tiene, además, una serie muy completa que abarca entre 1941 a 2005 (Fig. 10 a); llama la atención la gran estabilidad de la temperatura media anual, tan sólo interrumpida por un valor máximo en 1998. El resto de la serie muestra una variabilidad interanual en torno a 1° C, sin que tampoco se aprecien tendencias en este parámetro. Nuevamente la tendencia lineal carece de significación estadística al 90% de confianza, con una pendiente en la recta de regresión prácticamente nula -0,07° C/siglo (Cuadro 2).

En el extremo noroeste de la isla, la ciudad de Koumac con sólo 3.000 habitantes muestra una tendencia lineal positiva, con un incremento de 0,6° C entre 1951 y 2005 (Fig. 10 b). Este aumento es significativo desde los años

ochenta, con un máximo histórico, también, en 1998. El test de ANOVA ofrece un valor de 1,29° C/siglo, a un nivel de confianza del 99 %, (Cuadro 2).

Considerando estos dos ejemplos no existe relación entre la longitud de la serie y la significación estadística, puesto que la serie más extensa es la que no resulta válida desde el punto de vista estadístico.

Las estaciones de Nueva Caledonia dan como resultado una tendencia positiva en la estación menos poblada y la ausencia de tendencia en la capital, lo que dificulta la búsqueda de causas que pueden explicar la falta de homogeneidad en las tendencias de la temperatura.

Las **Islas del mar del Coral**, al nordeste de Australia están formadas por islas muy pequeñas y arrecifes coralinos, sin población permanente, siendo los más importantes los islotes de Willis. En uno de ellos se dispone de una serie completa entre 1939 y 2004. La evolución temporal presenta una gran estabilidad de la tendencia lineal, con variaciones interanuales máximas de 1,2° C sin que se aprecien variaciones a lo largo de la serie temporal. Esta estación registra su valor máximo en 1973 y el mínimo en 1997 (Fig. 11). Otro parámetro que corrobora la estabilidad térmica temporal queda representado en el gráfico de las anomalías, en el que los valores respecto a la media de la serie y de 1961-90 son prácticamente iguales.

La recta de regresión ofrece una pendiente prácticamente nula (+0,00001, Cuadro 2) en la cual, la tendencia positiva de la temperatura asciende a una periodicidad de 100.000 años y, por tanto, despreciable desde el punto de vista climático. Así, la tendencia lineal, aunque no tiene significación estadística, sí refleja la ausencia de cambios a lo largo de los últimos 65 años.

Las **Islas Fiji**, situadas en la Melanesia, en el mar de Koro, están constituidas por numerosas islas, nueve de ellas de un tamaño considerable y el resto atolones e islas pequeñas de origen volcánico. En su conjunto tiene 890.000 habitantes, según el censo de 2005. Las cinco estaciones meteorológicas de las islas Fidji están distribuidas en cuatro islas, dos en Viti Levu (Laucala y Nausori) y el resto en las islas de Vanua Levu (Undu Point), Rotuma y Ono I Lau. Estas series temporales tienen numerosos huecos y no son todas coincidentes en los períodos registrados.

La isla más grande, Viti Levu, tiene relieve montañoso y su pico más alto alcanza 1.323 metros; está avenida por ríos caudalosos entre los que destaca el Rewa que desemboca al norte de Suva y en su vega se localizan cultivos de regadío. El resto de la isla está ocupada, en gran parte, por bosques de pluvisilva, si bien, hay zonas cultivadas, un 10%, en suelos muy fértiles. En el sureste de la isla se encuentra la capital, Suva, con 73.000 habitantes (con sólo 200 habitantes en 1879), aunque su área de influencia, la "Gran Suva" alcanza los 200.000 habitantes. La ciudad se localiza en la bahía de Laucala y, en su proximidad, está la estación meteorológica. En esta isla, próxima al río Rewa y con un poblamiento muy disperso se sitúa Nausori con una estación meteorológica que dispone de una serie entre 1972 y 2004.

En la imagen Landsat ETM+ del 4 de febrero de 2001 escena 74-73 se observa (Fig. 12 a) como en el área costera en donde se encuentra la estación meteorológica, el suelo está altamente urbanizado. Sin embargo al norte, hacia el interior, aparecen grandes masas de bosques tropicales. En ellos se pueden observar áreas con problemas de erosión del suelo y deforestación. Tanto visual como digitalmente se pueden discriminar estas masas vegetales de los cultivos localizados preferentemente en las vegas de los ríos, porque éstos tienen valores

espectrales más elevados en el infrarrojo próximo (banda 4). Los valores de NDVI (Fig. 12b) son altos y bastante homogéneos en la masa forestal sin degradar, con valores que oscilan entre 0,4-0,5° C.

Las dos series temporales de esta isla (bahía de Laucala y Nausori) tienen sesenta años de registro, si bien no son coincidentes en las fechas, pues en la segunda los datos se interrumpen en 1981 (Fig. 12c). Ambas muestran tendencias lineales ascendentes (+0,38° C/siglo y +1,41° C/siglo respectivamente) (Cuadro 2), aunque sólo Nausori es significativa con un nivel de confianza del 95 %. Esta serie, con treinta años de registro, muestra los valores máximos en los primeros años del siglo XXI, con un incremento medio en torno a 0,5° C.

La segunda isla de mayor tamaño, Vanua Levu, se sitúa al noreste de Viti Levu y en su extremo septentrional se localiza la estación meteorológica Undu Point, rodeada de bosque tropical y con ausencia de núcleos urbanos. Pese a tener numerosos huecos también es evidente el ascenso de la temperatura media anual siendo estadísticamente significativa, con un nivel de confianza del 95%. La línea de tendencia ofrecen incrementos en la temperatura media de 0,79° C/100 años, (Fig. 12d y Cuadro 2).

La isla de Rotuma, al noroeste del archipiélago tiene 43 km<sup>2</sup> y es de origen volcánico. La vegetación dominante es la pluvisilva y la población (unos 3.000 habitantes) se distribuye en la orla costera, por lo que la mayor parte de la isla apenas registra alteración antrópica. La evolución temporal de la temperatura muestra el mayor incremento térmico de las islas Fidji, en torno a 1° C, siendo los años del siglo actual los más cálidos de la serie (Fig. 12 e). La tendencia lineal sí tiene significación estadística con un nivel de confianza del 99 % (Cuadro 2), con una pendiente que señala un incremento positivo de la temperatura media anual del orden de 1,1° C/100 años, valor elevado en el Pacífico Sur.

Por último, la estación de Ono I Lau, situada en el extremo meridional del conjunto de las islas Fidji, constituye una isla volcánica y coralina, con 7,9 km<sup>2</sup> de extensión, una elevación máxima de 113 m. La isla apenas tiene población permanente. De todas las islas Fidji es la única que presenta una tendencia estable de la temperatura media anual, aunque no es significativa desde el punto de vista estadístico, pues la pendiente es mínima (+0,0011). El valor máximo se produce en 1952 y los años más recientes muestran valores similares a los años cuarenta o setenta (Fig. 12f).

El conjunto de islas Fidji resulta un ejemplo de disparidad de tendencias, sin vinculaciones directas a factores antrópicos, pues estaciones enclavadas en grandes ciudades muestran ascensos leves de las temperaturas (Laucala), mientras que ciudades pequeñas y muy dispersas pueden tener ascensos moderados (Nausori), notables (Rotuma) o estabilidad (Ono I Lau) de la temperatura media. En general, el archipiélago ofrece más tendencias positivas que estables, situándose ésta última en la isla de mayor latitud (Ono I Lau), muy próxima al trópico de Capricornio.

**Tuvalu**, es una isla nación, formada por nueve atolones coralinos, cuya altitud es inferior a 5 m snm. La estación meteorológica se sitúa en la capital, *Funafuti*, que tiene unos 4.500 habitantes y supone el 40% de la población. La serie temporal comprende de 1933 a 2005, con amplias lagunas en los datos mensuales durante decenio más reciente. De éste sólo puede obtenerse el dato anual para 2003. No obstante, el registro de la pequeña isla de Funafuti (unos 8 km de longitud) muestra una tendencia lineal descendente, como respuesta a los valores altos del decenio inicial (1933-1942) (Fig. 13).

La pendiente resultante de la recta de regresión ofrece un valor de  $-0,4^{\circ}$  C/siglo, con significación estadística a un nivel de confianza del 95 %. Al observar la evolución de las anomalías anuales, también se advierte una ligera tendencia parcial ascendente entre 1971 a 1994, aunque no parece continuar con el único dato del siglo XXI (2003), pues se da una cifra similar a la de finales de los años cincuenta. Ante la ausencia reiterada de valores mensuales de los registros de las décadas noventa y 2000, cabe preguntarse si hay intención de no ofrecer los valores actuales (Fig. 13).

Del conjunto de **Islas Cook** hay trece islas habitadas y dos sin habitar. Las islas del norte están constituidas por atolones de arrecifes de coral. Las del sur, más pobladas, están constituidas por material volcánico. Entre ellas destaca Rarotonga, la más joven y la más poblada de su archipiélago; es además su centro administrativo. En total, los habitantes de las islas Cook rondan los 21.000 (dato del 2005), de los que la mitad viven en Rarotonga. La estación meteorológica está en el norte de esta isla, en las proximidades del aeropuerto. Con 32 km de perímetro, los puntos más altos de la isla corresponden a volcanes que han sido erosionados y, en la actualidad, no tienen alturas superiores a 658 m. La isla está rodeada por un amplio lagoon.

La imagen del satélite Landsat 7, ETM+, escena 60-75, corresponde al 24 de agosto de 1999. En ella se observa (Fig.14 a), que casi toda la isla está cubierta por una espesa vegetación de pluvisilva, aunque en el interior hay algunos sectores con cultivos en gran parte establecidos en terrazas en las áreas escarpadas. En las áreas costeras hay numerosas plantaciones de palmeras de cocos. Sólo la orla costera está ampliamente urbanizada, situándose en ella todos los núcleos habitados. La ciudad más importante, Avarua, está muy próxima al aeropuerto y a la estación meteorológica.

Esta estación dispone de una serie temporal de casi un siglo, en la que muestra claramente una tendencia lineal ascendente de la temperatura media anual, con significación estadística al 99 % de confianza. En esta serie el valor máximo se produjo en 1973 ( $24,79^{\circ}$  C) seguido de 1999 ( $24,73^{\circ}$  C). (Fig.14b). El signo positivo de la pendiente arroja también un valor de  $0,66^{\circ}$  C/siglo, cifra que reduce prácticamente a la mitad los resultados obtenidos en otras estaciones del Pacífico Sur menos extensas (Koumac, en Nueva Caledonia con 50 años; Nausori, en las Fidji, con 30 o Bora Bora, en la Polinesia, con 47 años).

Las **Islas Samoa**, están constituidas por ocho islas, aunque el 96 % del territorio lo componen las dos más grandes: Upolu y Savai'i. En la primera viven unos 120.000 habitantes, que supone el 75 % de la población del país. En dicha isla se sitúa la capital, *Apia* (40.000 habitantes), que dispone de una de las series temporales más largas del Pacífico sur (1890-1994). La evolución temporal de la temperatura media refleja un incremento en torno a  $1,2^{\circ}$  C entre finales de los siglos XIX y XX (Fig. 15). Sin embargo, dicho ascenso no es progresivo, sino que experimenta un acusado incremento térmico en las décadas iniciales (1890-1910) y, desde los inicios del siglo XX la tendencia central es estable. El nuevo equilibrio térmico en valores altos se ha observado también en algunas estaciones de las islas Hawaii, aunque en este caso se adquiere varias décadas antes.

También, la media treintenial más elevada se registra en 1931-1960 y no en la más actual. La tendencia obtenida mediante la recta de regresión sí es significativa a un nivel de confianza del 99% y su pendiente estima un aumento de la temperatura media de  $0,75^{\circ}$  C/siglo, cifra similar a la obtenida en la otra estación casi centenaria de las Islas Cook. La estación de Apia es otro ejemplo de la ausencia de datos desde mediados de los años noventa hasta la actualidad, por lo

que se desconoce su realidad inmediata y si existe relación con otras islas del Pacífico.

**Wallis** es una pequeña isla volcánica y está dedicada básicamente a la agricultura, con una población de unos 10.000 habitantes. En la ciudad de Hihifo, con unos 530 habitantes, se localiza la estación meteorológica, que dispone de una serie temporal de 1950 a 2005. En general, la temperatura media anual describe una curva en forma de "U", en la que los valores más recientes son muy similares a los años cincuenta del pasado siglo y mínimos en los años setenta (Fig. 16). La tendencia obtenida mediante la recta de regresión no es significativa al 90 % de confianza, pues su pendiente es como en otras estaciones del Pacífico Sur muy pequeña (Cuadro 2). Todo ello induce a considerar a la isla Wallis, localizada en el centro del Pacífico Sur, como climáticamente estable, al menos en cuanto a la temperatura media se refiere.

La **Polinesia** está constituida por 118 islas que se extienden a lo largo de 4 millones de km<sup>2</sup>. De las cinco estaciones seleccionadas, Tahití es la más representativa por disponer de la serie temporal más larga. *Tahití* es la isla más grande y pertenece al archipiélago Windward en el que se concentra el 75% de la población, unos 250.000 habitantes. La estación meteorológica está al norte de la isla, en Faaa con 25.000 habitantes a 6 km de la capital, Papeete, también con 25.000 habitantes; ambas ciudades constituyen los núcleos urbanos más poblados de toda la polinesia francesa (Fig. 17 a y b).

La imagen seleccionada de la isla de Tahití es del sensor ETM +, escena 53-72, con fecha 6 de junio del 2000. En ella se observa como la mayor parte de la isla está cubierta por vegetación densa, correspondiente a bosques tropicales. Todas las áreas urbanizadas se concentran en la costa, especialmente en el norte entre los núcleos de Faaa y Papeete en el sur de la isla (Matatea) y en la unión con la península de Taiarapu. En el sur están la mayor parte de las tierras cultivadas. Por el contrario, el interior de la isla corresponde a pluvisilva tropical, por lo que el NDVI (Fig. 17 c) es muy alto, llegando a alcanzar valores superiores a 0,7 en muchos sectores, y, en casi toda la isla, supera el 0,5. En algunos puntos aparecen también praderas y pastos (cartografiados en la combinación 4-3-2). La influencia antrópica es pues, poco significativa, y tiene, por tanto, poca influencia en los datos meteorológicos.

La evolución de la temperatura media registra en Tahití una tendencia levemente ascendente, con valores en progresivo ascenso desde finales de los años setenta a la actualidad. No obstante, debe señalarse que el período entre 1940 y 1947 tiene valores superiores o iguales a los actuales (Fig. 17d). Otras estaciones de la Polinesia: Takaroa, Rututu y Rapa, con series temporales que comienzan en los años cincuenta muestran incrementos de la media anual, con tendencias parciales muy similares a la registrada en Tahiti, esto es, el aumento es significativo los últimos veinticinco años.

#### 4. CONCLUSIONES

Las imágenes de satélite con alta resolución espacial, temporal y/o espectral, permiten localizar las estaciones meteorológicas, conocer su entorno y analizar los cambios, antrópicos o naturales, acaecidos en él y que pueden afectar a las variaciones de la temperatura .

Del conjunto de series temporales analizadas hay casi un 50% que avalan la tesis del calentamiento del planeta, con tendencias ascendentes de la temperatura media anual y el mismo porcentaje que la invalidan, con tendencias estables o negativas.

La temperatura media en estaciones centenarias (islas Hawaii y Samoa) ofrece incrementos destacados a lo largo del periodo, aunque el ascenso no es progresivo, sino que es muy acusado en las primeras décadas y se estabiliza desde los años sesenta del pasado siglo en las islas Hawaii y desde los años treinta en Samoa. También es frecuente que estaciones con registros de más de ochenta años, muestren tendencias centrales estables (islas de la Micronesia y Norfolk), hecho que está en concordancia con las estaciones anteriores.

La falta de unanimidad en las tendencias lineales, junto al nuevo equilibrio térmico en muchas estaciones centenarias, no pueden apoyar los modelos actuales de "Cambio Climático", que proponen progresiones ininterrumpidas de la temperatura de la Tierra.

En las islas del Pacífico no parece que exista correlación entre el tamaño de las ciudades o incremento de la población, con la evolución de la temperatura media anual, si bien el enclave más poblado y turístico, Hawaii, tiene claros ascensos de los valores térmicos. Sin embargo, tres de las cuatro estaciones localizadas en islas sin población permanente (Wake, Willis en las islas Coral y Kwajalein en las Marshall, con 59, 66 y 60 años de registro respectivamente), presentan tendencias claramente estables.

Las series termométricas con tendencias estables o negativas se localizan preferentemente en latitudes ecuatoriales o en el Pacífico sur. Por el contrario, es evidente el ascenso térmico en el Pacífico noroccidental, en el área de influencia del anticiclón tropical.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALMARZA MATA, C. (2000): Variaciones climáticas en España. Época instrumental. En: Balairón, J. (coord.): *"El Cambio Climático"*, El Campo, Servicio de Estudios del BBVA, Madrid, n<sup>o</sup> 137: 69-86.
- BALAIRÓN, L. (2000): Las causas del cambio climático. En: Balairón, J. (coord.): *"El Cambio Climático"*, El Campo, Servicio de Estudios del BBVA, Madrid, n<sup>o</sup> 137: 89-110.
- CAÑADA, M<sup>a</sup> R.; GALÁN, E.; FERNÁNDEZ, F. Y CERVERA, B. (2001): *"Análisis de las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales en la meseta sur española durante el siglo XX"*. En: Pérez Cueva et alii. (Eds.) *El tiempo del clima*, AEC, Serie 2: 53-64.
- CHRISTY, J.R., PARKER, D.E., STENDEL, M. AND NORRIS, W.B., (2001): Differential trends in tropical sea surface temperature and atmospheric temperatures since 1979. *Geophysical Research Letters* 28: 183-186.
- FOLLAND, C.K., KARL, T.R., CHRISTY, J.R., CLARKE, R.A., GRUZA, G.V., JOUZEL, J., MANN, M.E., OERLEMANS, J., SALINGER, M.J. AND WANG, S.-W. (2001): Observed Climate Variability and Change. pp. 99-181 In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C.A. Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 881pp.
- JONES, P.D., NEW, M., PARKER, D.E., MARTIN, S. AND RIGOR, I.G. (1999): Surface air temperature and its variations over the last 150 years. *Reviews of Geophysics* 37: 173-199.
- JONES, P.D. and MOBERG, A. (2003): Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate* 16: 206-223.
- KIM, D. and CHOI, W. (2006): Decadal and year-to-year variations of the Arctic lower stratospheric temperature for the month of March and their relationship with eddy heat flux. *Int. Journal of Climatology*, 26-8:1125-1132



- KUMAR, P.V.; BINDI, M.; CRISCI, A. and MARACCHI, G. (2005): Detection of variations in air temperature time scales during the period 1889-1998 at Firenze, Italy. *Climatic Change*, 72:1-2: 123-150.
- LINDZEN, R. S. (1990): Some coolness concerning global warming. *American Meteorological Society*, 71: 288-299.
- MIRÓ, J.J.; ESTRELA, M.J. y MILLÁN, M. (2006): Summer temperature trends in a Mediterranean area (Valencia region). *Int. Journal of Climatology*, 26-8:1051-1073.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M<sup>a</sup> E. 2006. Las temperaturas y el cambio climático. *Estudios económicos: mitos y realidades del cambio climático*, 3-4: 177-208.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M<sup>a</sup> E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P. (2006): Crítica al cambio climático a partir de la evolución de la temperatura en el Atlántico Norte. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 26: 95-116.
- . En prensa La temperatura en el Pacífico Sur: ¿hay unanimidad de tendencias? Homenaje al Prof. Casas Torres.
- PETERSON, TH.C. and EASTERLING, D.R. (1994): Creation of homogeneous composite climatological reference series. *International Journal of Climatology*, 14: 671-679.
- PETERSON, THOMAS C. and RUSSELL S. VOSE (1997): An overview of the Global Historical Climatology Network temperature data base, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2837-2849.
- RAYNER, N.A., PARKER, D.E., HORTON, E.B., FOLLAND, C.K., ALEXANDER, L.V., ROWELL, D.P., KENT, E.C. and KAPLAN, A. (2003): Global analyses of SST, sea ice and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J Geophys Res*, 108 D14.
- SANZ DONAIRE, J.J. (2002): Un cambio climático que no existe: las precipitaciones en Madrid. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, Vol. Extraordinario, Homenaje a J.M<sup>a</sup> Sanz García. Madrid: 443-458 pp.
- . (2006): La problemática de las precipitaciones en el marco del Cambio Climático. *Estudios económicos: mitos y realidades del cambio climático*, 3-4: 25-75.

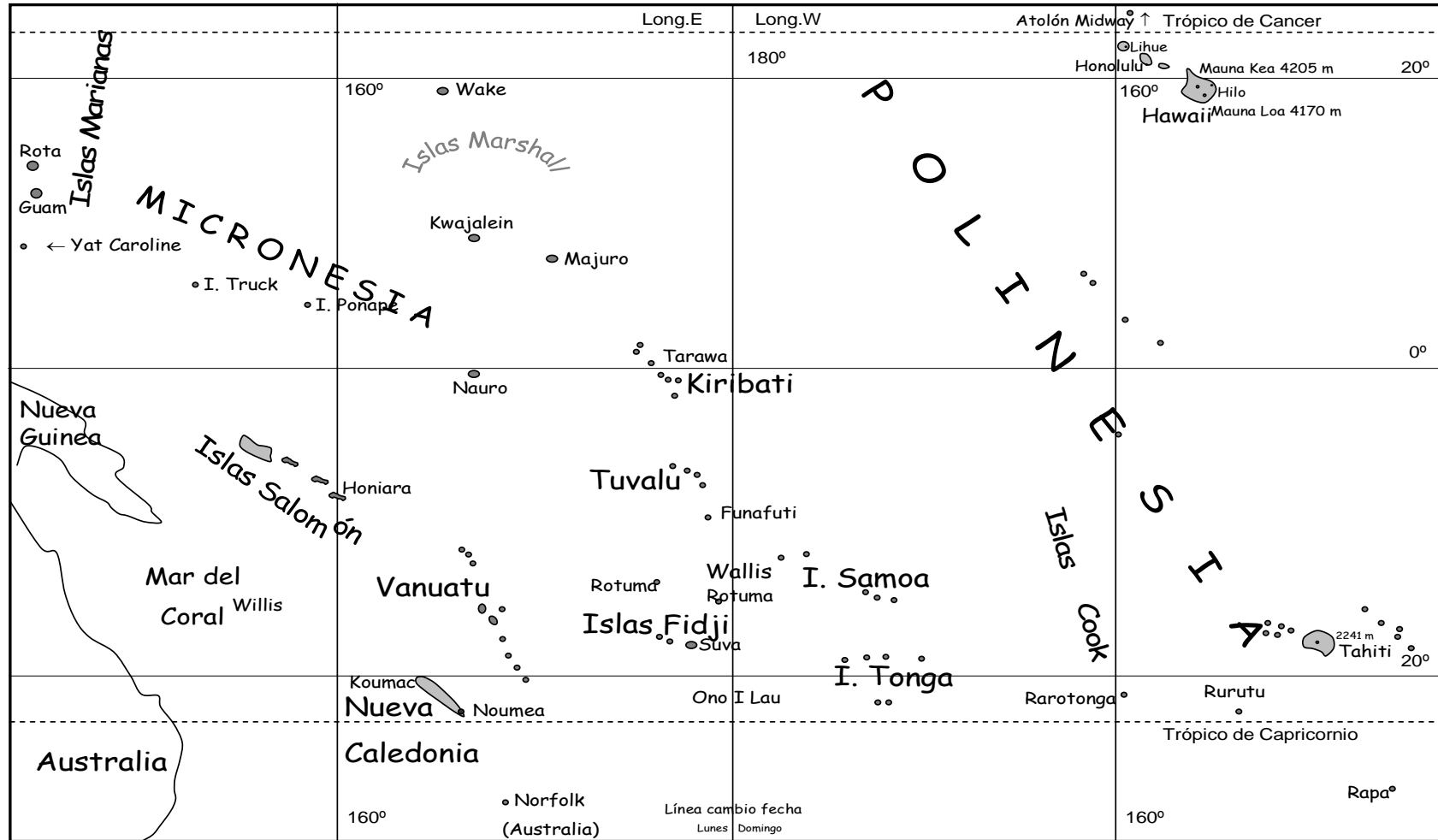
Direcciones de Internet

<http://www.metoffice.com/research/hadleycentre/>

<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>

<http://www.world-gazetteer.com/home.htm>

Fig. 1. Islas del Pacífico



## PACÍFICO – HEMISFERIO NORTE

Fig. 2 a. Combinación de bandas 4-3-2 (R-V-A) y detalle de la ciudad de Honolulu

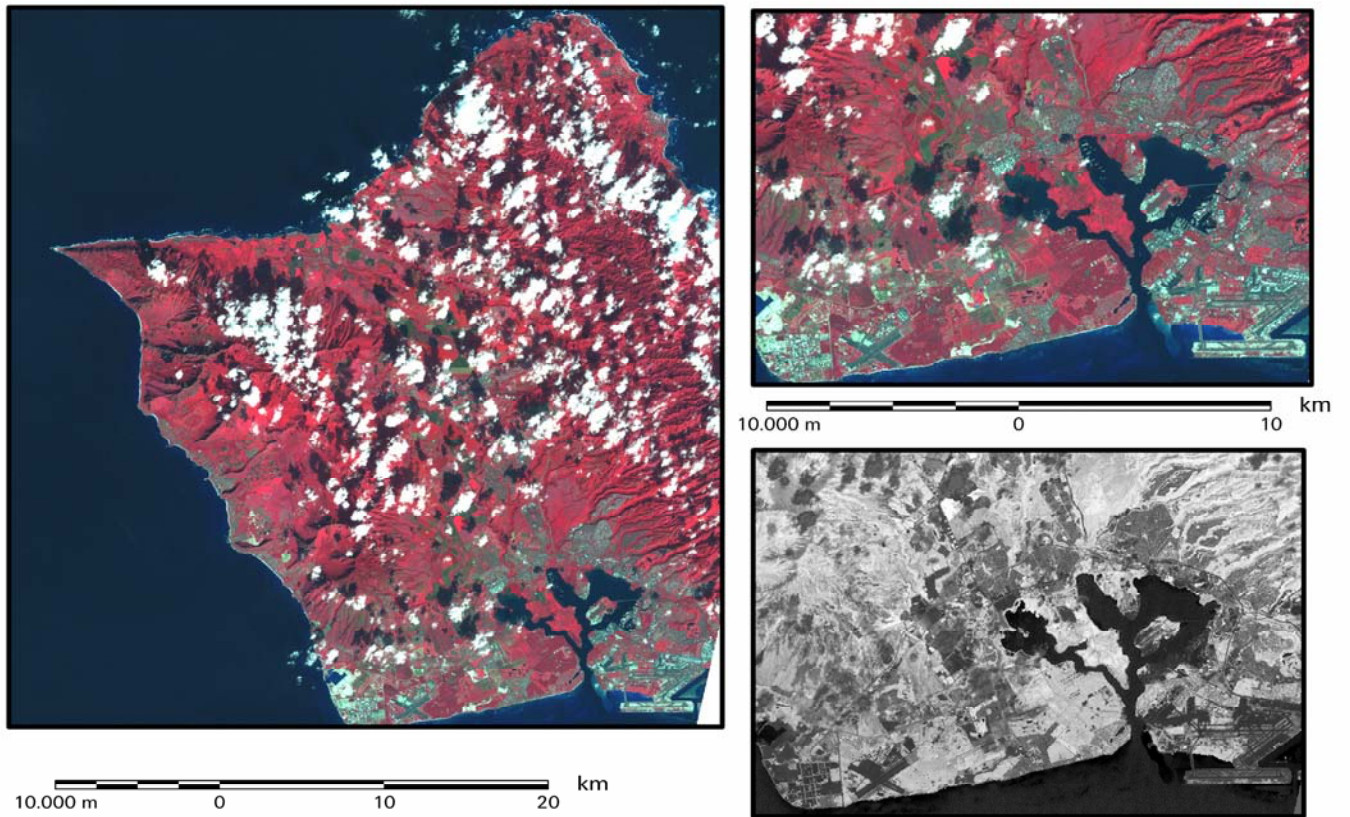


Fig. 2 b. Banda 4.

Fig. 2c. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas

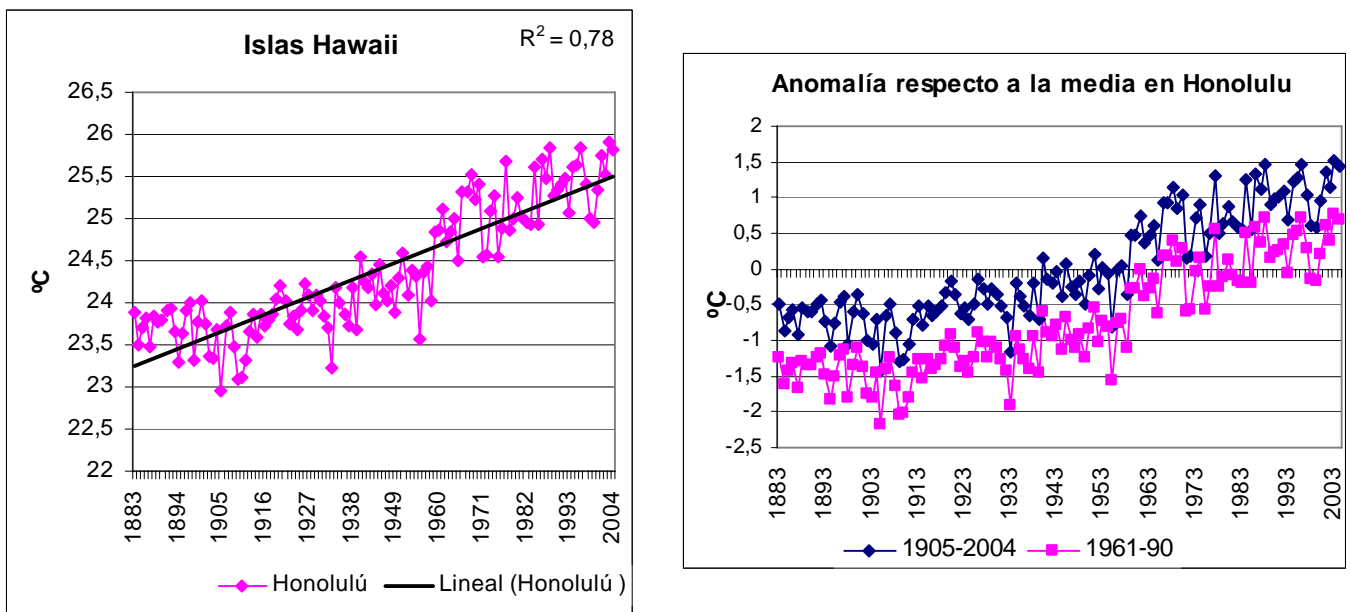


Fig. 2d. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Hawaii: Kanehoe

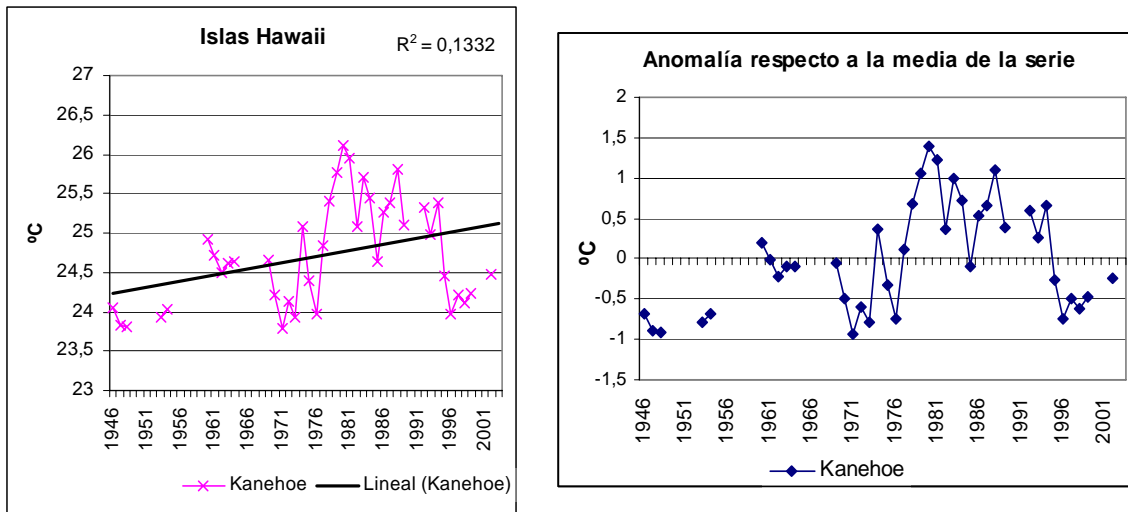


Fig. 2e. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Hawaii: Lihue

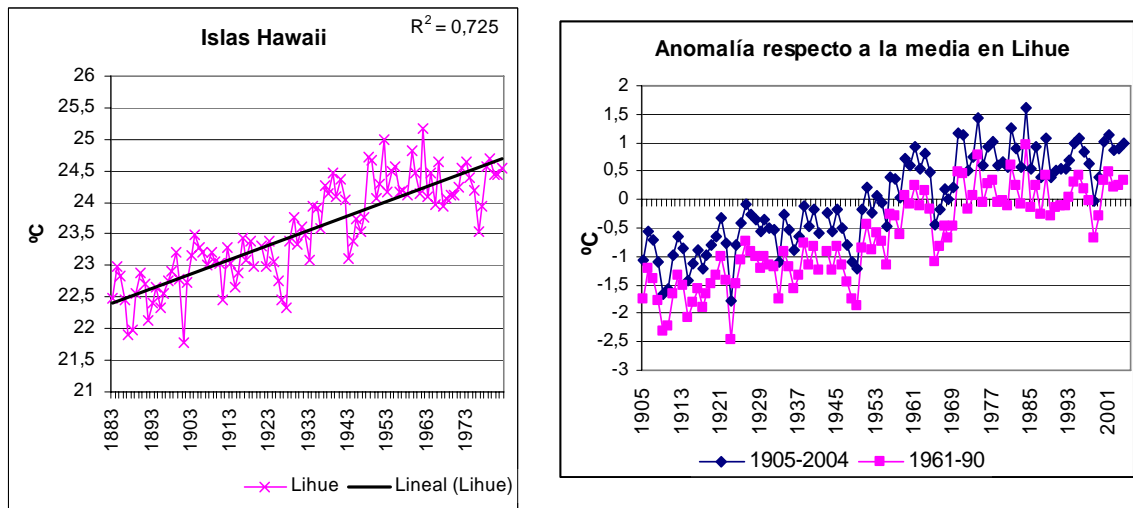


Fig. 2f. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Hawaii: Hilo

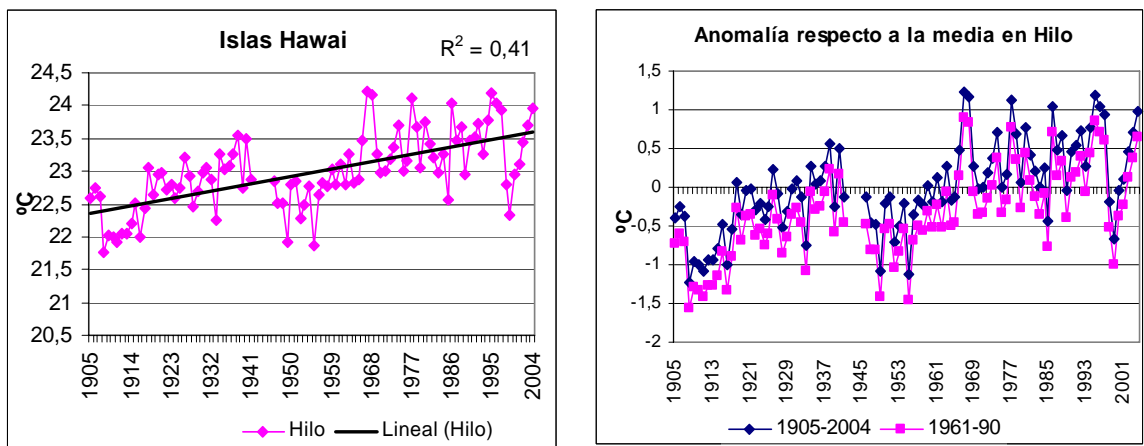


Fig. 3. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Midway

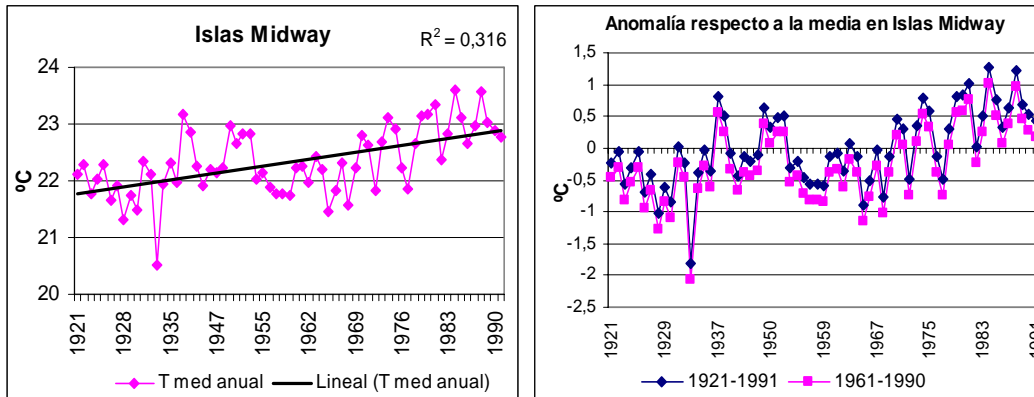


Fig. 4a. Imagen ETM+ del 23-02-2001 de la isla Yap (Micronesia). Falso color 5-7-2 (R-V-A)

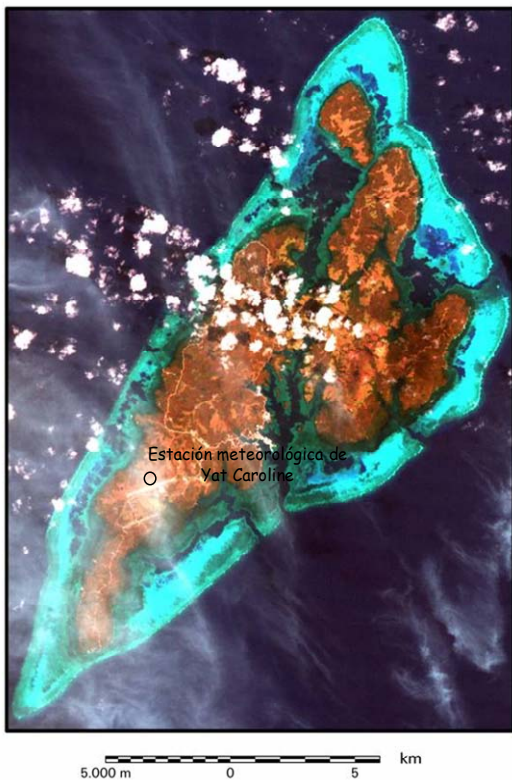


Fig. 4b. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en Micronesia: Yat Caroline

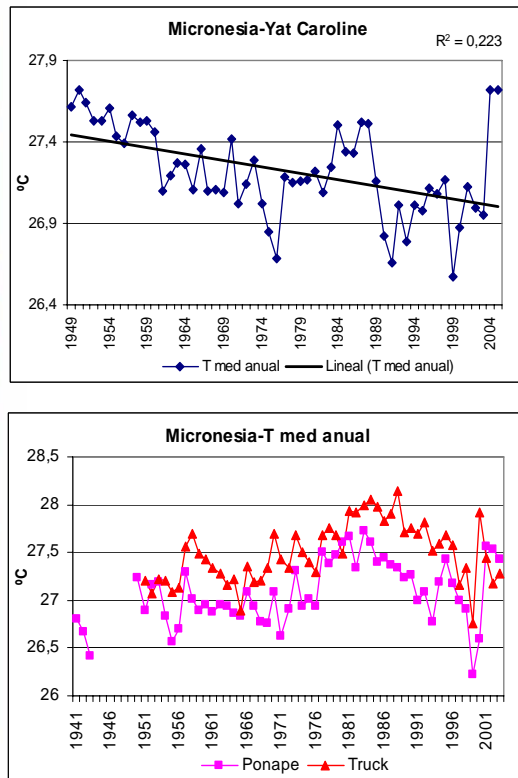


Fig. 4c. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en Micronesia: Ponape y Truck

Fig. 5. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en Wake

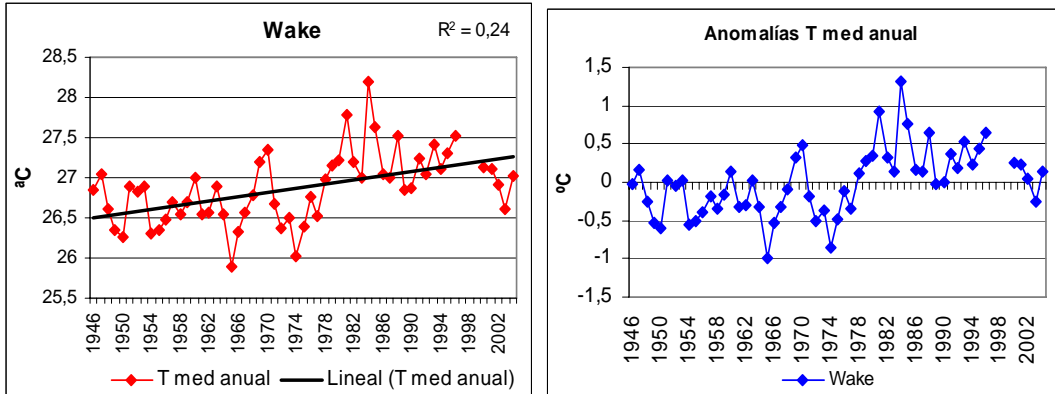


Fig. 6. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Kiribati

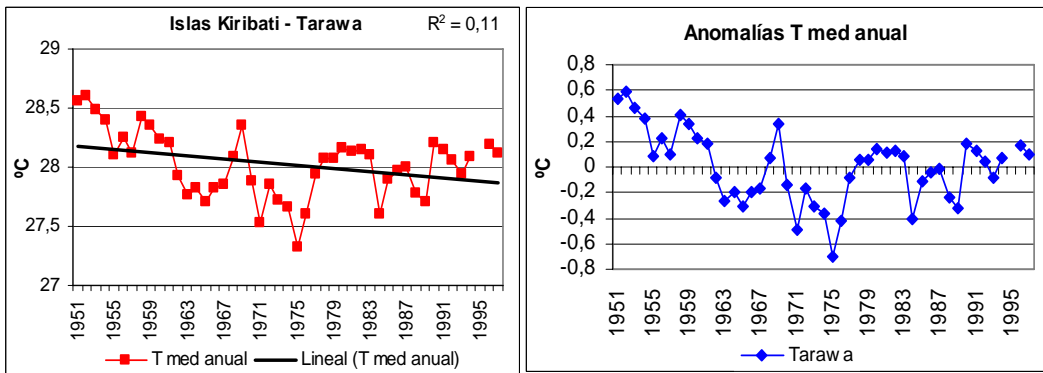


Fig. 7. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Marshall

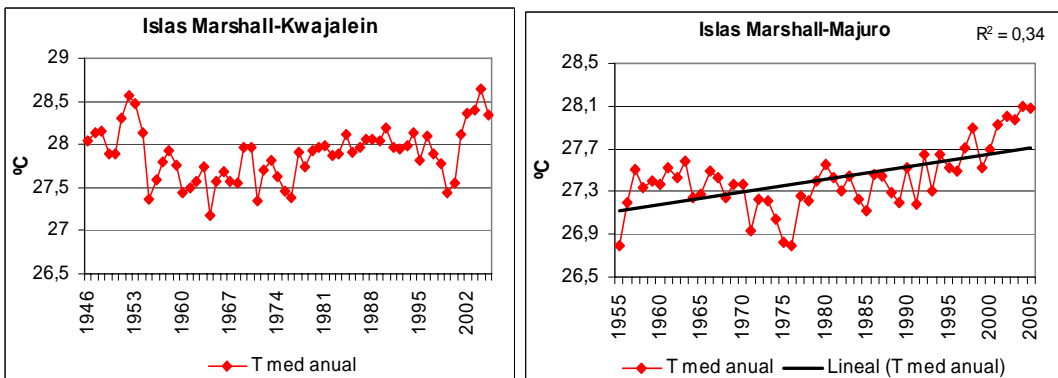


Fig. 7 a. Temperatura media en Kwajalein

Fig. 7 b. Temperatura media en Majuro

**PACÍFICO - HEMISFERIO SUR**

Fig. 8. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Salomón

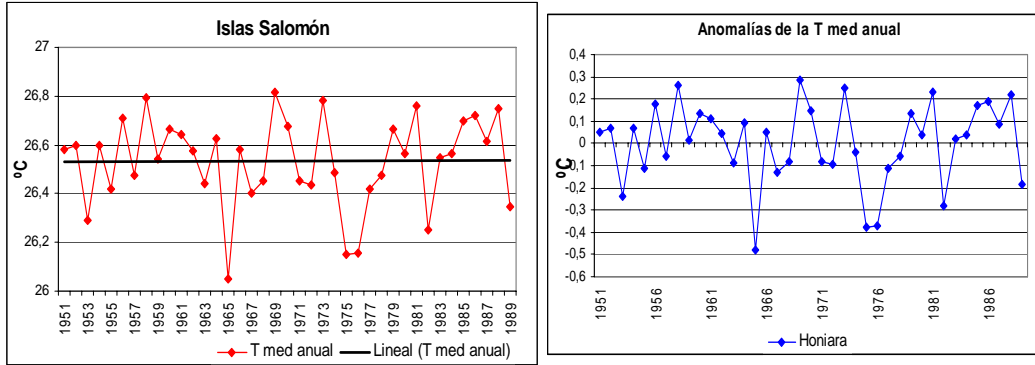


Fig. 9 a. Imagen ETM+ en color natural 3-2-1, (R-V-A) de la isla Norfolk. 24-03-2000

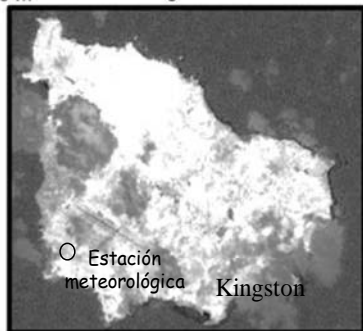
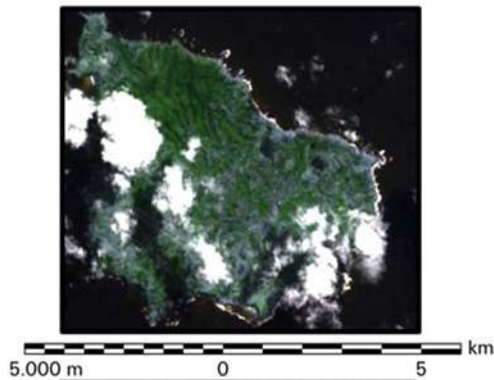


Fig. 9 b. NDVI de la isla Norfolk

Fig. 9c. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Norfolk

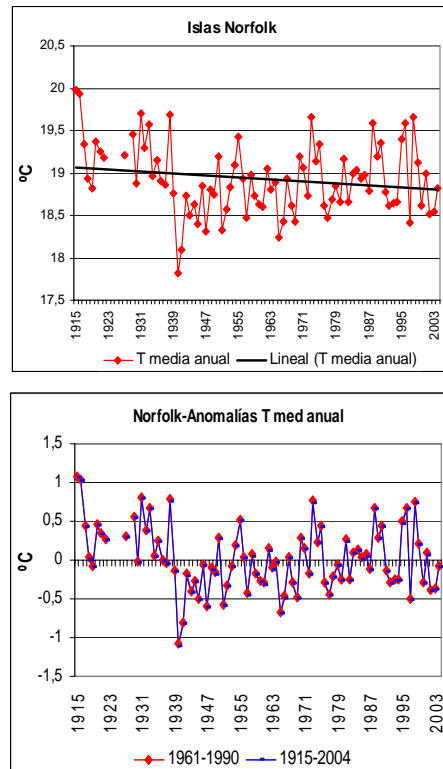


Fig. 10 a. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en Nueva Caledonia: Noumea

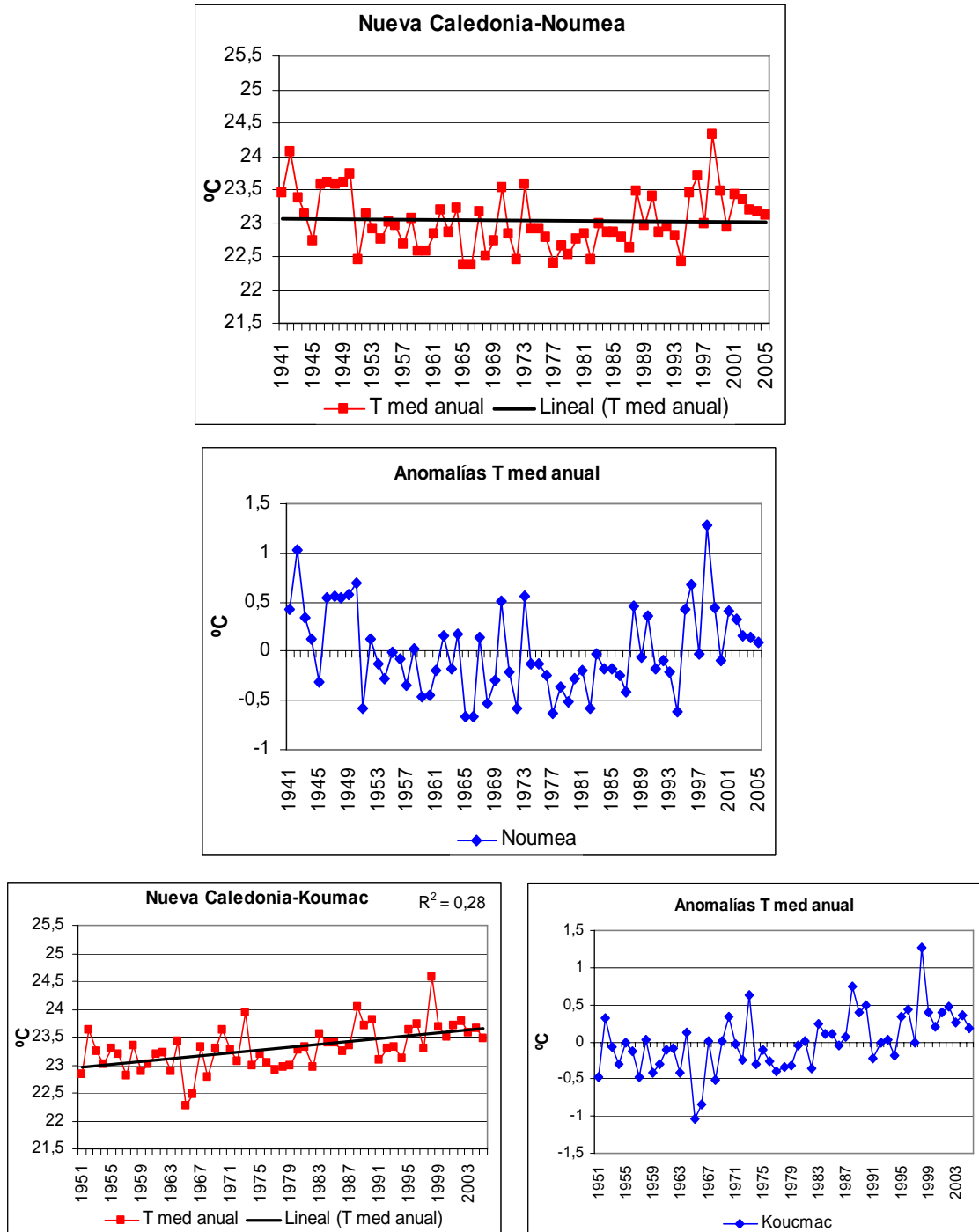


Fig. 10 b. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en Nueva Caledonia: Koumac



Fig. 12 a. Imagen ETM+ de la isla Viti-Levu (Islas Fidji) del 4-02-2001. Falso color 4-3-2 (R-V-A)

Fig. 11. Evolución de la temperatura media anual y tendencias lineales en las islas Coral

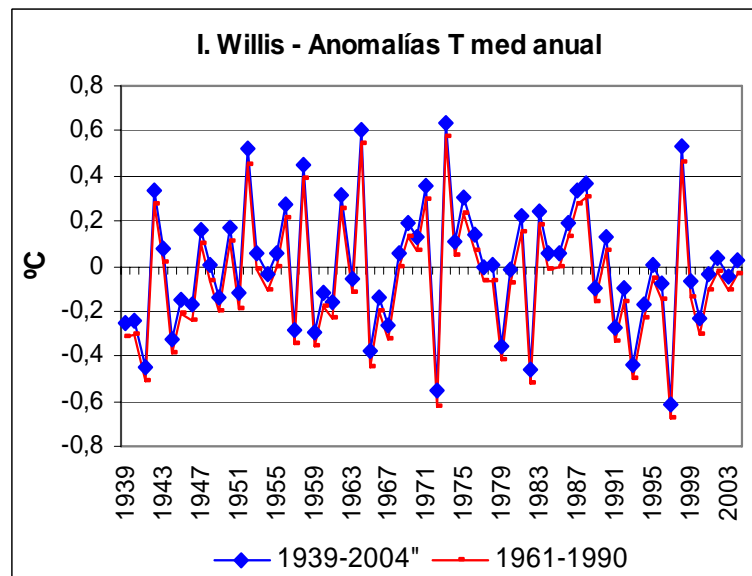
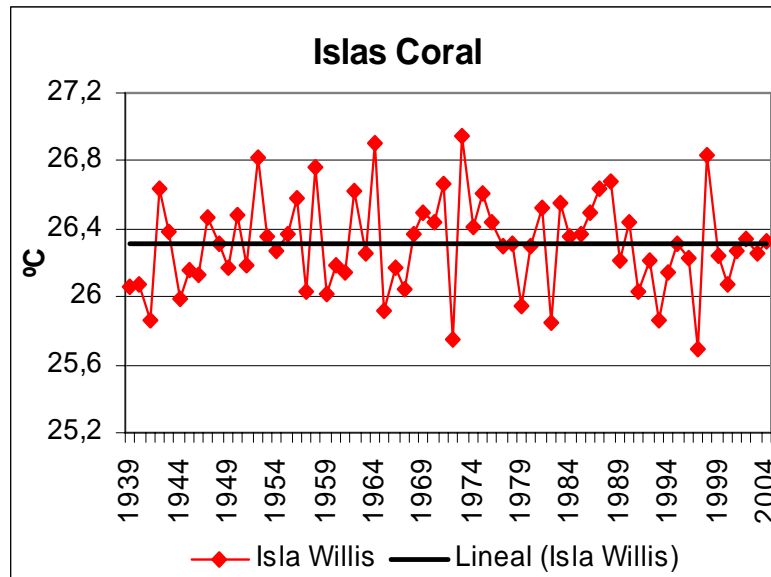
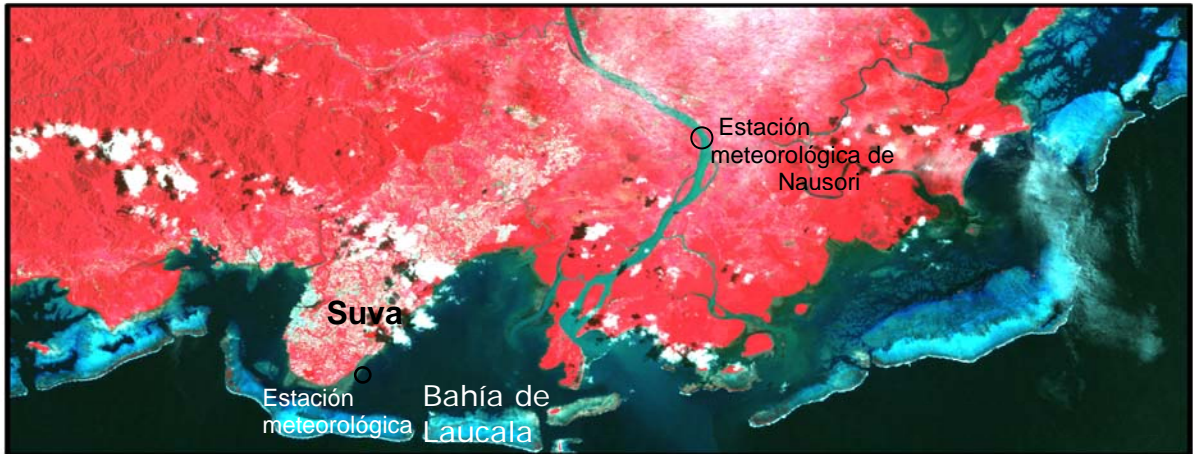


Fig. 12 a. Imagen ETM+ de la isla Viti-Levu (Islas Fidji) del 4-02-2001 Falso color 4-3-2(R-V-A)



10.000 m 0 10 20 km

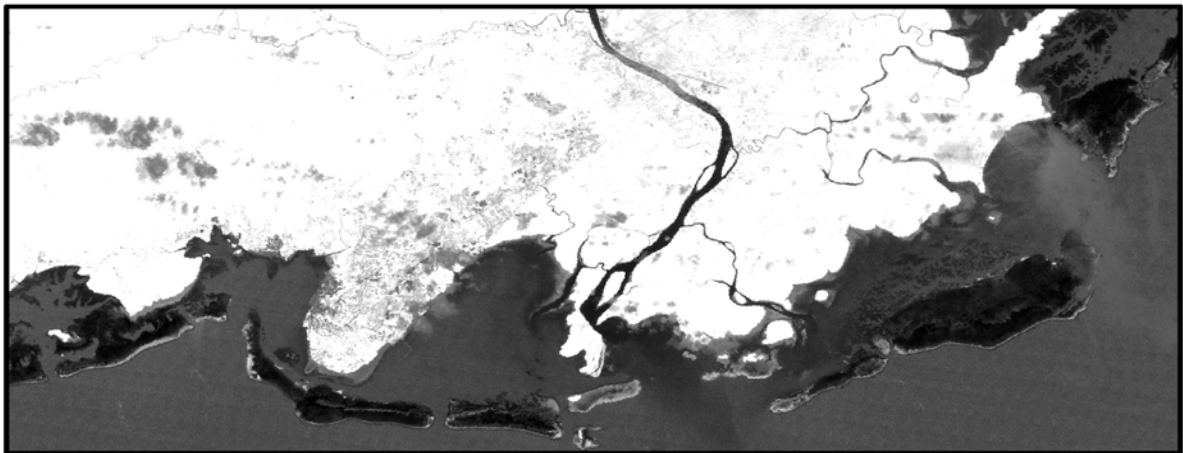


Fig. 12 b. NDVI. Isla Viti-Levu. Detalle de la Bahía de Laucada

Fig. 12 c. Evolución de la temperatura media en las islas Fidji: Viti Levu

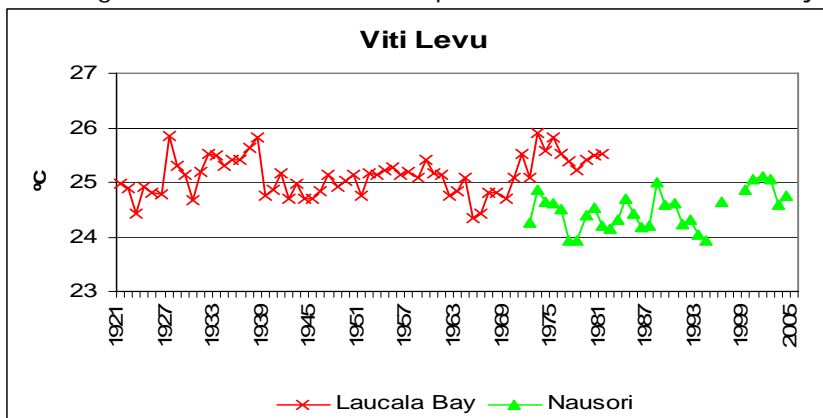


Fig. 12 d,e y f. Evolución de la temperatura media en las islas Fidji: Vanua Levu, Rotuma y Ono I Lau

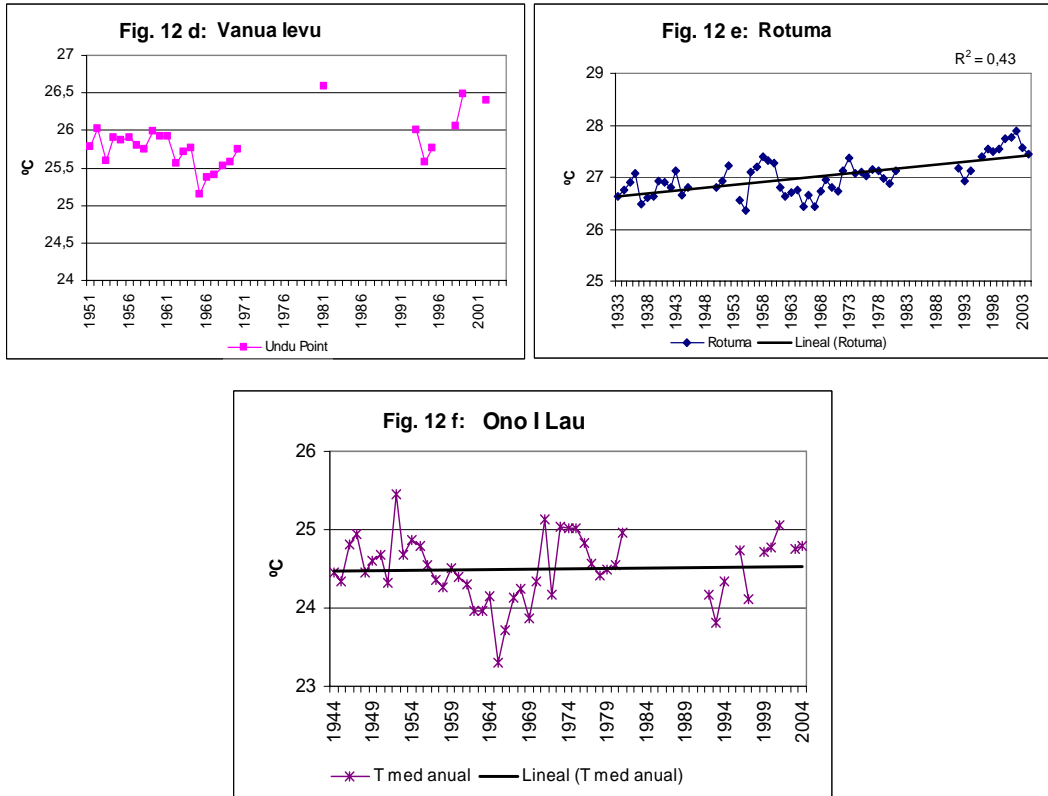


Fig. 13. Evolución de la temperatura media en Tuvalu

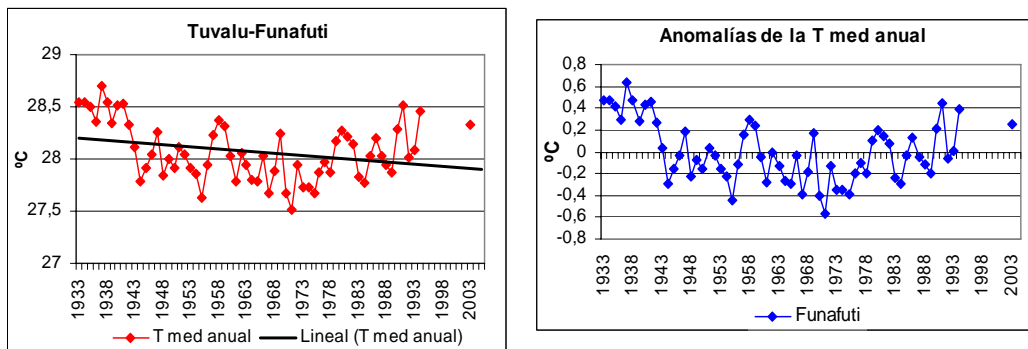


Fig. 14 a. Imagen ETM+ de la isla Rarotonga (Islas Cook) del 24-08-1999.  
 Falso color 4-3-2 (R-V-A) y detalle del norte de la isla

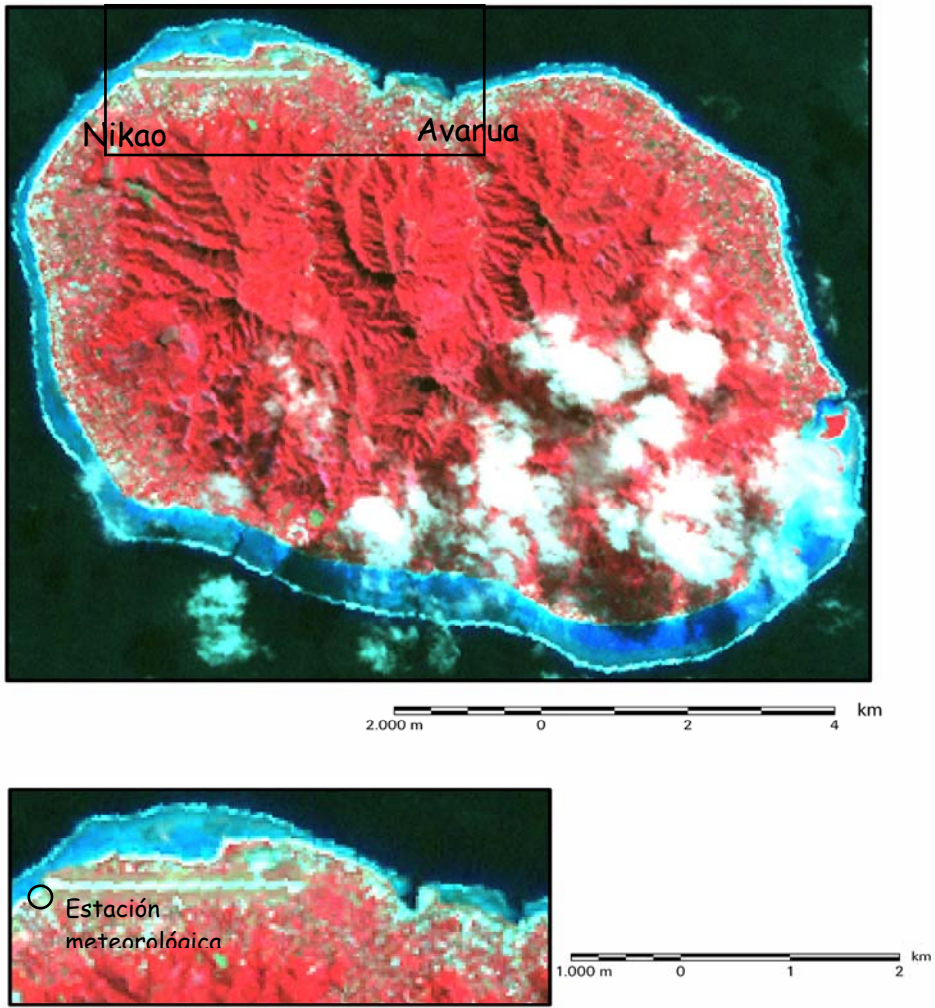


Fig. 14b. Evolución de la temperatura media en las Islas Cook

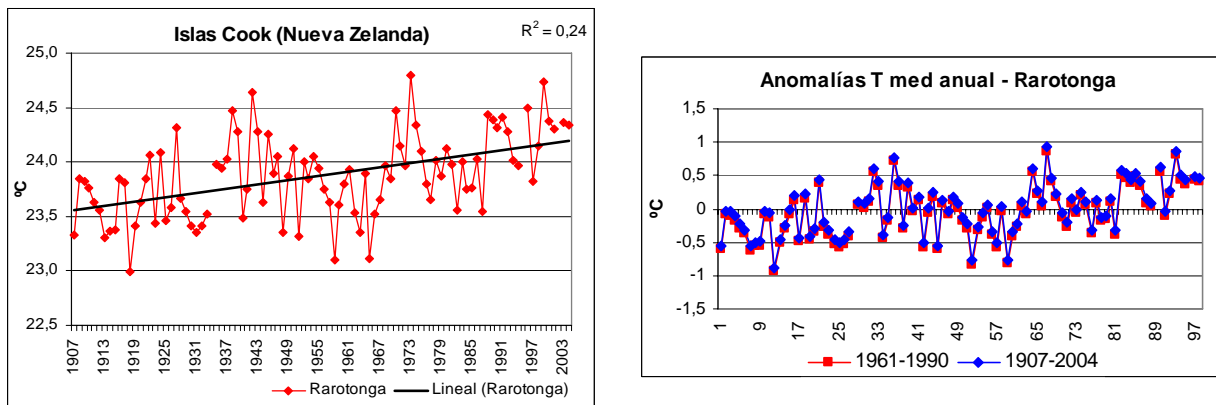


Fig. 15. Evolución de la temperatura media en las Islas Samoa

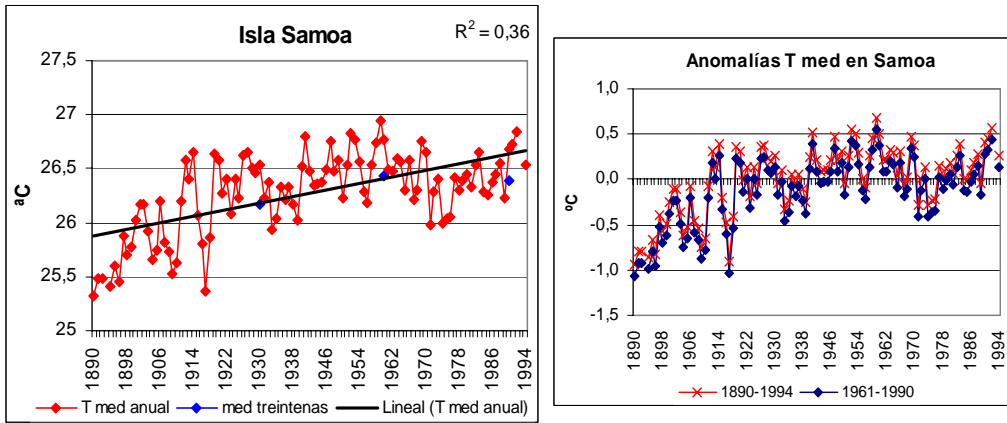
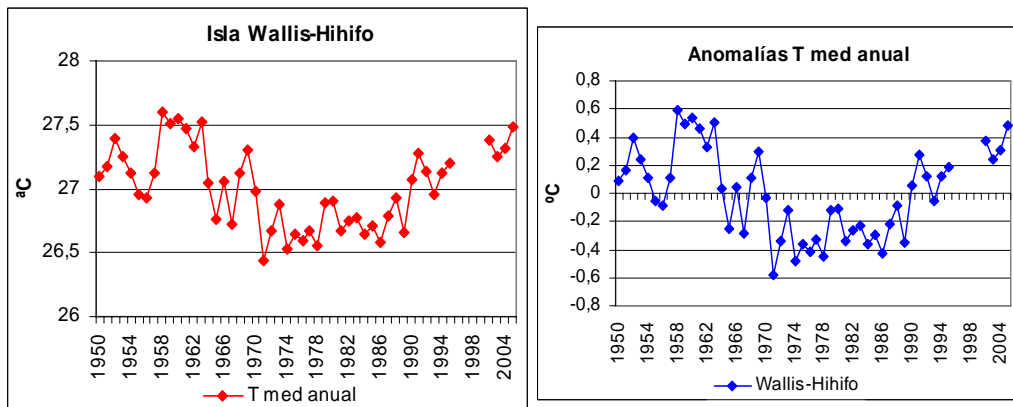


Fig. 16. Evolución de la temperatura media en la Isla Wallis



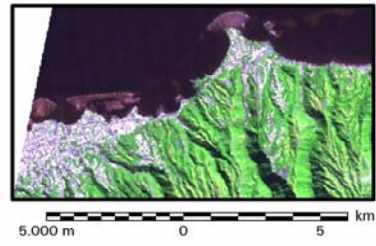
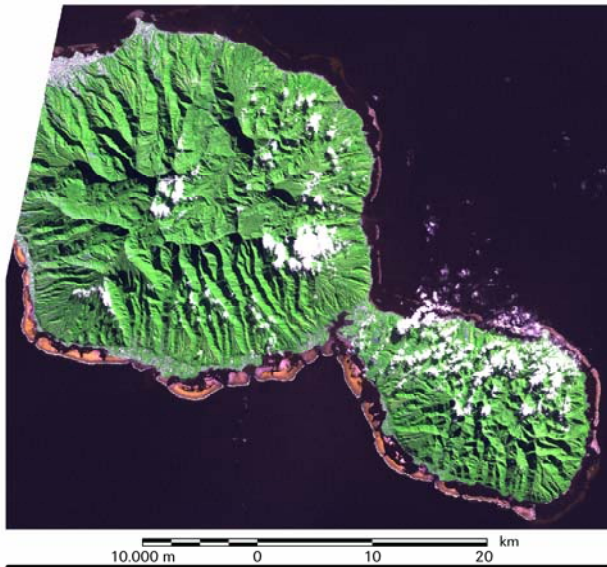


Fig. 17 a y b. Imagen ETM+ de Tahiti (Polinesia) del 06-06-2000. Color Natural 3-2-1 (R-V-A) y detalle de la ciudad de Papeete

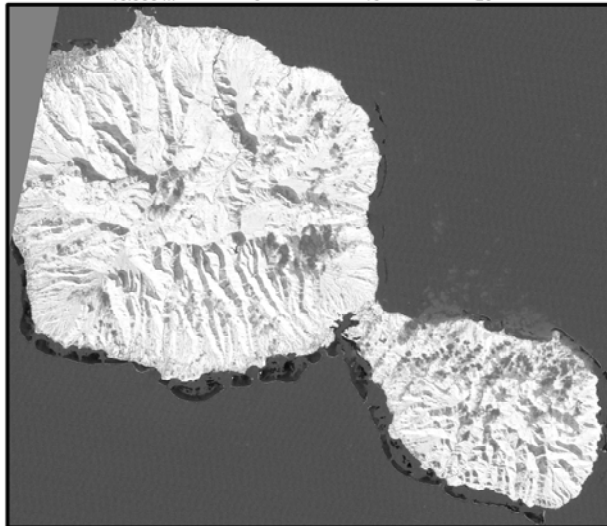


Fig. 17 c. NDVI de la Isla de Tahiti

Fig. 17 d. Evolución de la temperatura media en la Polinesia

