TELEDETECCIÓN
CUANTITATIVA
DIVISIÓN TERRESTRE

Estimación de Evapotranspiración en áreas boscosas utilizando índices de vegetación satelital multi-sensor

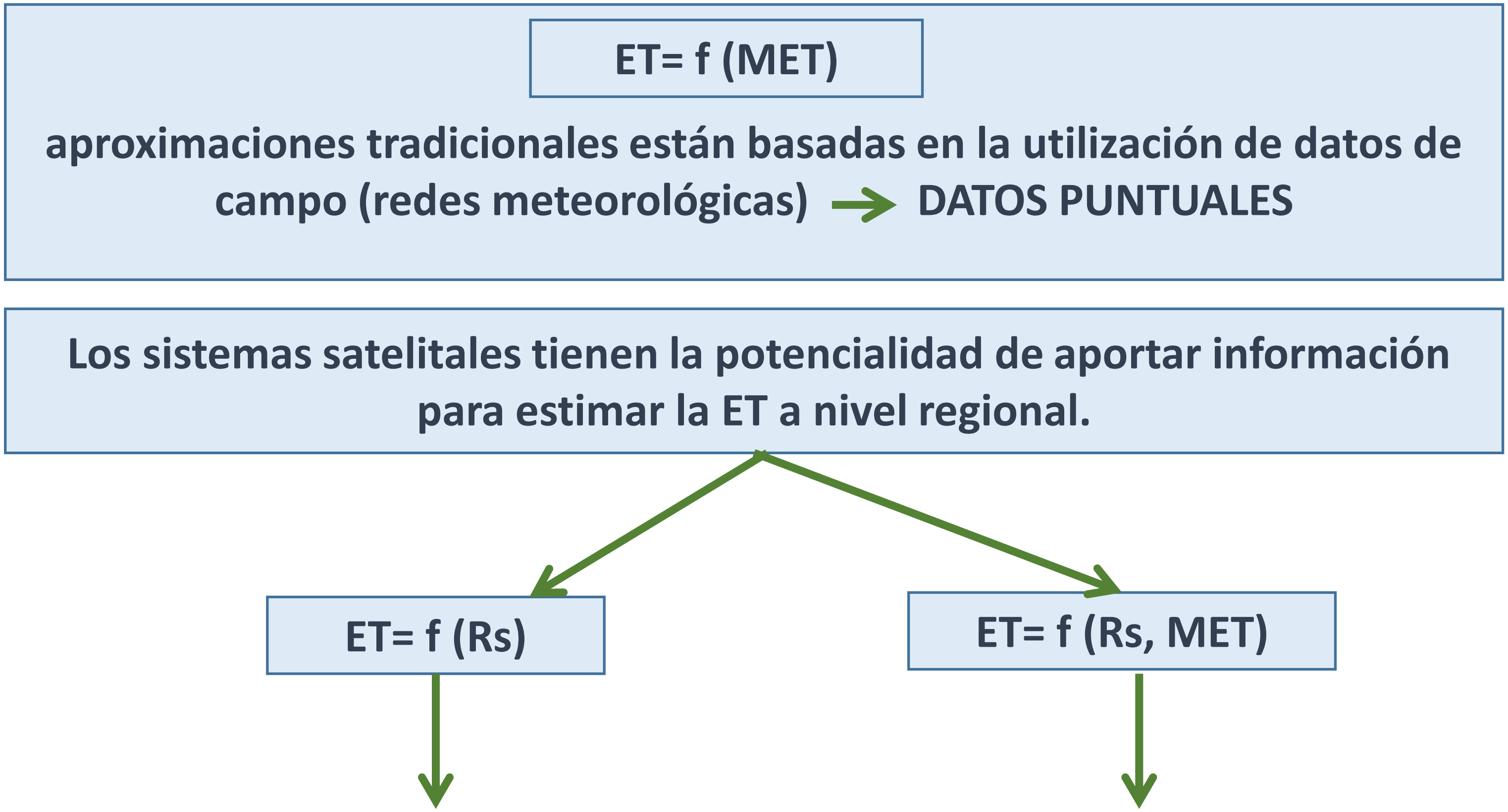
Dr. Verónica D. Barraza Bernadas

Director :
Dr. Francisco M. Grings

Lugar de trabajo: Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE)

IAFE
CONICET
UBA

Marco teórico: metodológico



ET= f (MET)

aproximaciones tradicionales están basadas en la utilización de datos de campo (redes meteorológicas) → DATOS PUNTUALES

Los sistemas satelitales tienen la potencialidad de aportar información para estimar la ET a nivel regional.

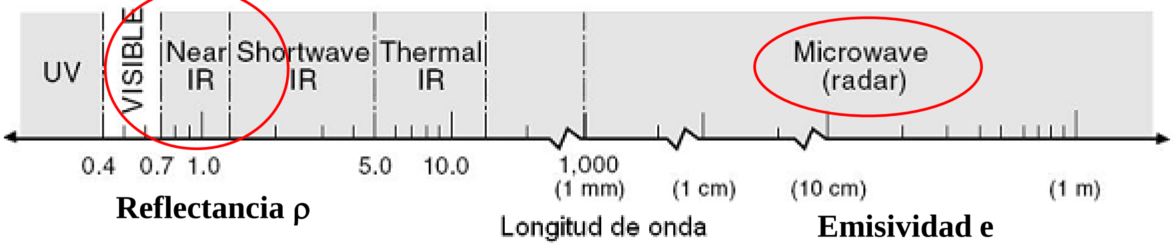
ET= f (Rs)

ET= f (Rs, MET)

- **relaciones empíricas entre ET e índices de vegetación y/o información de temperatura de superficie.**

- **Combinación de relaciones empíricas entre algunas de las variables dependientes y datos meteorológicos.**
- **modelos de proceso tipo SVAT (Soil- Vegetation- Atmosphere Transfer models)**

Bases teóricas : teledetección

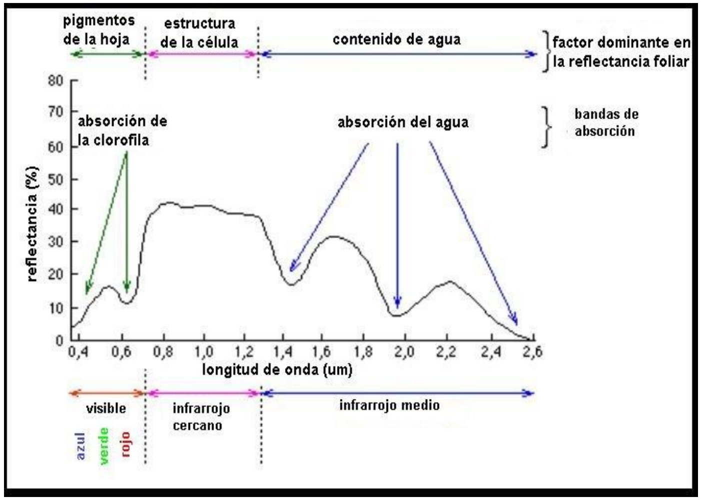


	Sistemas ópticos	Sistemas de microondas pasivas
resolución espacial:	30 m-1 km	> 25 km
resolución temporal:	8-16 días	1-3 días
Sensibilidad:	Factores geométricos y estructuras moleculares	Factores geométricos y dieléctricos

Que son los índices de vegetación?

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

$$EVI = G\frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1.\rho_{red} - C_2.\rho_{blue} + L}$$

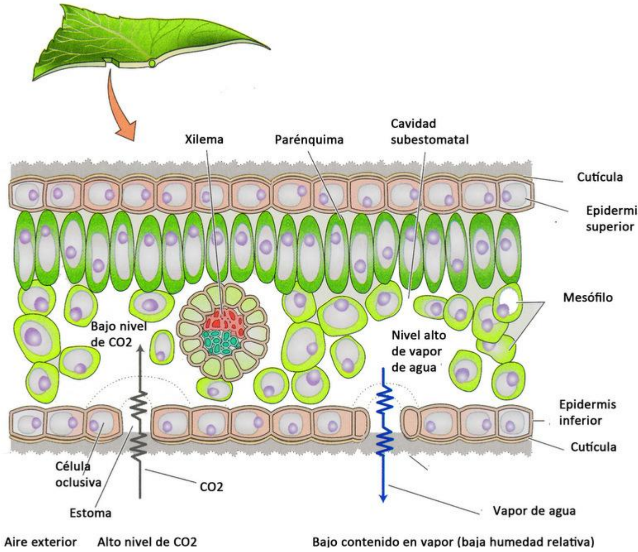


Marco teórico metodológico

ET= f (Rs, MET)

Penman-monteith

$$ET_o = \frac{1}{\lambda}\left(\frac{\Delta(Rn-G)+\rho_a c_p \frac{(e_s-e_a)}{r_a}}{\Delta+\gamma\left(1+\frac{\boxed{r_s}}{r_a}\right)}\right)$$

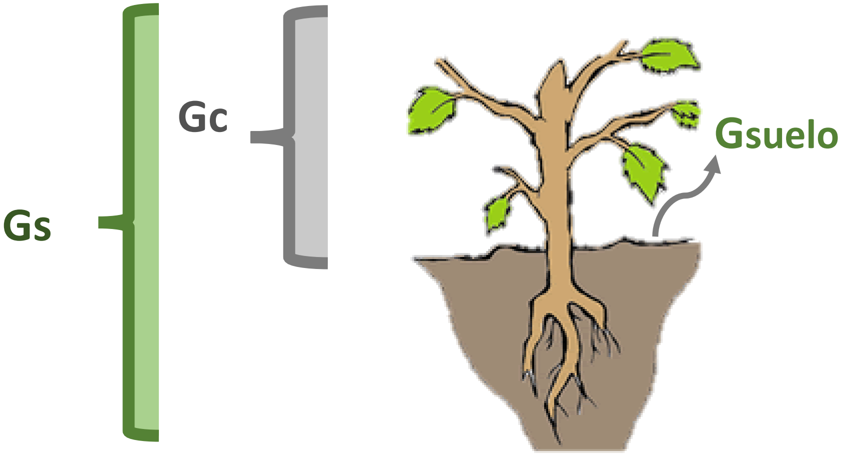


Resistencia superficial

rs= 1/ Gs

conductancia superficial

gs x LAI



Bases teóricas

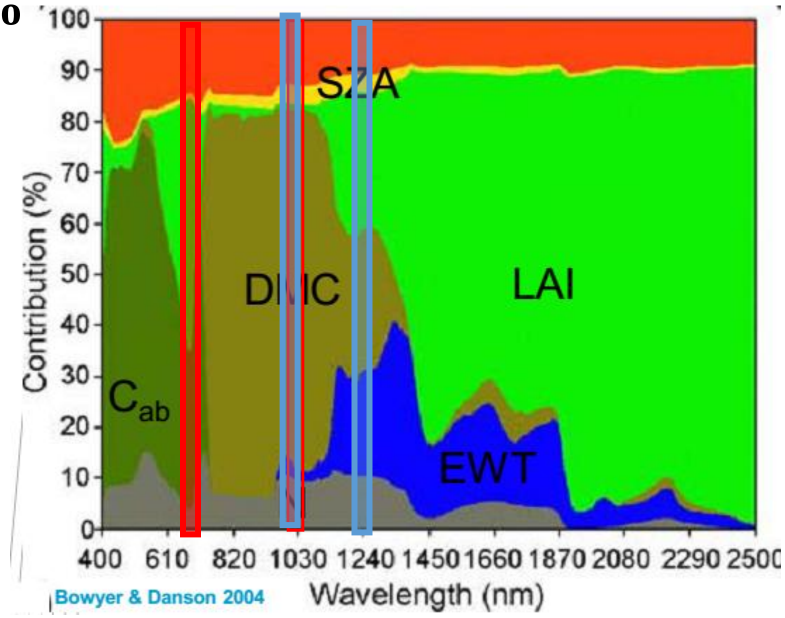
gs = f (VPD, PAR, LAI, gmax, Ta)

- gs esta relacionado con la concentración de clorofila en las hojas → correlacionado con RED y se espera que con el NDVI y EVI.

- gs esta relacionado con el contenido de agua de las hojas → correlacionado con SWIR y se espera que con el NDWI.

Yebra et al., (2013) realizó un producto de Gc global, utilizando los índices ópticos.

NDVI =(NIR-RED)/(NIR+RED)



Bowyer & Danson 2004

NDWI =(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)

- Estos sistemas ópticos presentan algunas desventajas:
  (1) una baja resolución temporal,
  (2) necesidad de corrección atmosférica
  (3) Baja sensibilidad relativa al contenido de agua de la vegetación (solo es sensible al contenido de agua en las hojas).

Bases teóricas

- **Li et al. (2009) y Min et al. (2006) desarrollaron una nueva técnica para estimar la fracción de ET utilizando un índice de diferencia en frecuencia en microondas pasivas (EDVI- microwave emissivity difference index) a partir de datos de microondas pasivas multifrecuencia, y multisensor, para un bosque deciduo en EE.UU.**

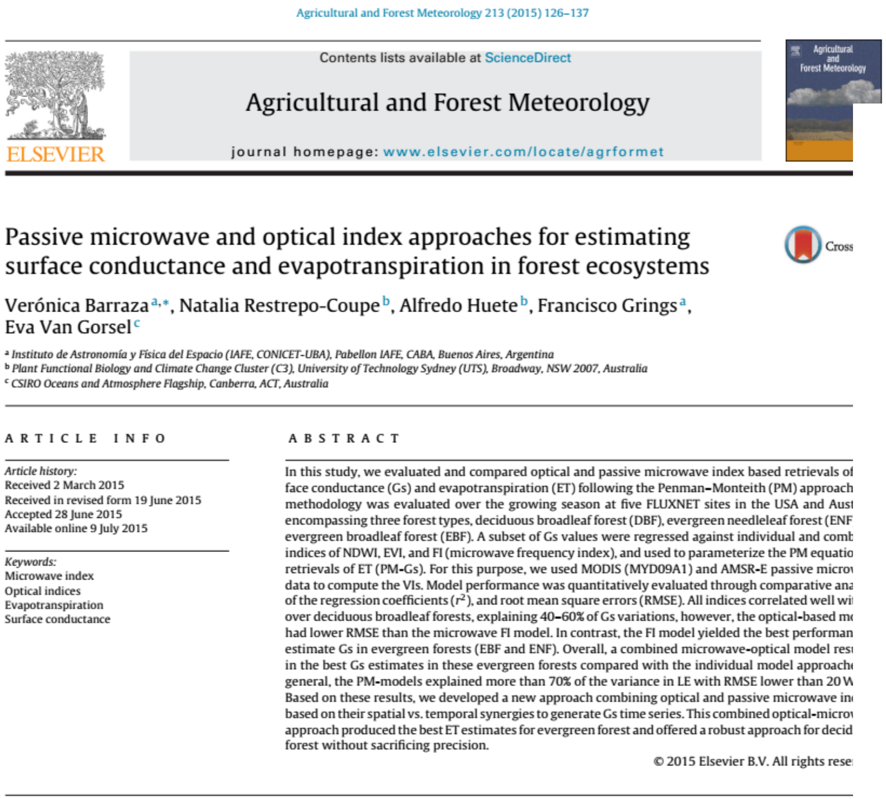
  - **Aunque están caracterizados por una baja resolución espacial (del orden de 25 Km x 25 Km), los sensores de microondas pasivas presentan varias ventajas:**

(1) gran sensibilidad al contenido de agua de la vegetación.
(2) alta revisita temporal (1-3 días) diaria y horaria (día y noche).
(3) se ven menos afectados por las condiciones atmosféricas que los sistemas ópticos.

- Gs = f (VPD, Potencial agua, CO2, PAR,…)

→ se espera que correlacione con variaciones en el contenido de agua en la canopea y por consiguiente con indices de frecuencia en microondas.

El objetivo principal fue el desarrollo y evaluación de una metodología para estimar ET (LE) en áreas boscosas, de sencilla aplicación a escala regional, a partir de información satelital multisensor de utilidad para diferentes usuarios.



Agricultural and Forest Meteorology 213 (2015) 126–137

Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural and Forest Meteorology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agrformet

Passive microwave and optical index approaches for estimating surface conductance and evapotranspiration in forest ecosystems

Verónica Barraza[a,*], Natalia Restrepo-Coupe[b], Alfredo Huete[b], Francisco Grings[a], Eva Van Gorsel[c]

[a] Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA), Pabellon IAFE, CABA, Buenos Aires, Argentina
[b] Plant Functional Biology and Climate Change Cluster (C3), University of Technology Sydney (UTS), Broadway, NSW 2007, Australia
[c] CSIRO Oceans and Atmosphere Flagship, Canberra, ACT, Australia

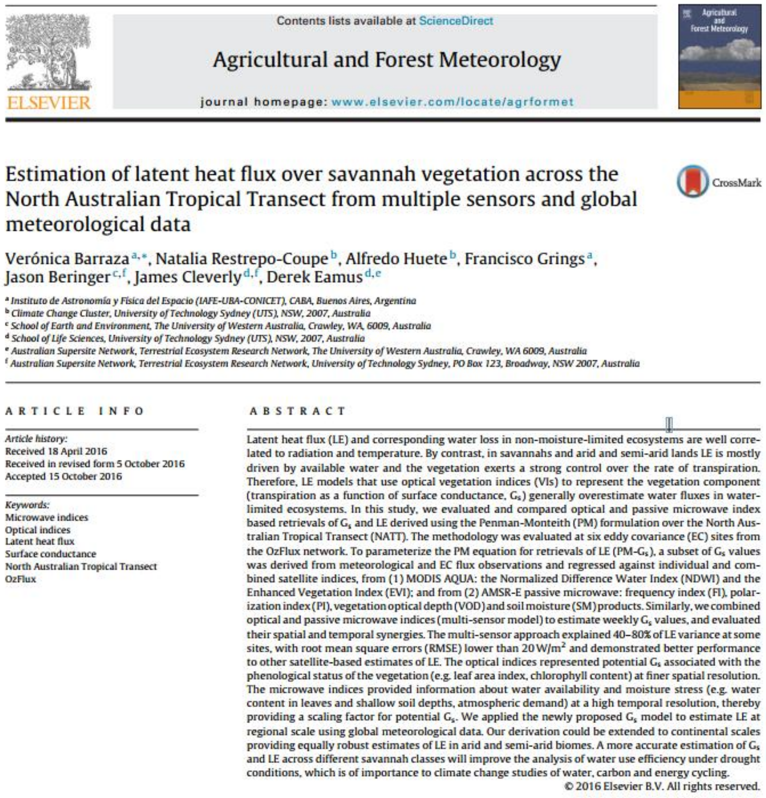
A R T I C L E I N F O

Article history:
Received 2 March 2015
Received in revised form 19 June 2015
Accepted 28 June 2015
Available online 9 July 2015

Keywords:
Microwave index
Optical indices
Evapotranspiration
Surface conductance

A B S T R A C T

In this study, we evaluated and compared optical and passive microwave index based retrievals of
face conductance (Gs) and evapotranspiration (ET) following the Penman–Monteith (PM) approach
methodology was evaluated over the growing season at five FLUXNET sites in the USA and Aust
encompassing three forest types, deciduous broadleaf forest (DBF), evergreen needleleaf forest (ENF
evergreen broadleaf forest (EBF). A subset of Gs values were regressed against individual and comb
indices of NDWI, EVI, and FI (microwave frequency index), and used to parameterize the PM equatio
retrievals of ET (PM-Gs). For this purpose, we used MODIS (MYD09A1) and AMSR-E passive micro
data to compute the VIs. Model performance was quantitatively evaluated through comparative ana
of the regression coefficients (r^2), and root mean square errors (RMSE). All indices correlated well wi
over deciduous broadleaf forests, explaining 40–60% of Gs variations, however, the optical-based m
had lower RMSE than the microwave FI model. In contrast, the FI model yielded the best performan
estimate Gs in evergreen forests (EBF and ENF). Overall, a combined microwave-optical model res
in the best Gs estimates in these evergreen forests compared with the individual model approach
general, the PM-models explained more than 70% of the variance in LE with RMSE lower than 20 W
Based on these results, we developed a new approach combining optical and passive microwave in
based on their spatial vs. temporal synergies to generate Gs time series. This combined optical-micro
approach produced the best ET estimates for evergreen forest and offered a robust approach for decid
forest without sacrificing precision.



Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural and Forest Meteorology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agrformet

Estimation of latent heat flux over savannah vegetation across the North Australian Tropical Transect from multiple sensors and global meteorological data

Verónica Barraza[a,*], Natalia Restrepo-Coupe[b], Alfredo Huete[b], Francisco Grings[a], Jason Beringer[c,f], James Cleverly[d,f], Derek Eamus[d,e]

[a] Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE-UBA-CONICET), CABA, Buenos Aires, Argentina
[b] Climate Change Cluster, University of Technology Sydney (UTS), NSW, 2007, Australia
[c] School of Earth and Environment, The University of Western Australia, Crawley, WA, 6009, Australia
[d] School of Life Sciences, University of Technology Sydney (UTS), NSW, 2007, Australia
[e] Australian Supersite Network, Terrestrial Ecosystem Research Network, The University of Western Australia, Crawley, WA 6009, Australia
[f] Australian Supersite Network, Terrestrial Ecosystem Research Network, University of Technology Sydney, PO Box 123, Broadway, NSW 2007, Australia

A R T I C L E I N F O

Article history:
Received 18 April 2016
Received in revised form 5 October 2016
Accepted 15 October 2016

Keywords:
Microwave indices
Optical indices
Latent heat flux
Surface conductance
North Australian Tropical Transect
OzFlux

A B S T R A C T

Latent heat flux (LE) and corresponding water loss in non-moisture-limited ecosystems are well correlated to radiation and temperature. By contrast, in savannahs and arid and semi-arid lands LE is mostly driven by available water and the vegetation exerts a strong control over the rate of transpiration. Therefore, LE models that use optical vegetation indices (VIs) to represent the vegetation component (transpiration as a function of surface conductance, G_s) generally overestimate water fluxes in water-limited ecosystems. In this study, we evaluated and compared optical and passive microwave index based retrievals of G_s and LE derived using the Penman-Monteith (PM) formulation over the North Australian Tropical Transect (NATT). The methodology was evaluated at six eddy covariance (EC) sites from the OzFlux network. To parameterize the PM equation for retrievals of LE (PM-G_s), a subset of G_s values was derived from meteorological and EC flux observations and regressed against individual and combined satellite indices, from (1) MODIS AQUA: the Normalized Difference Water Index (NDWI) and the Enhanced Vegetation Index (EVI); and from (2) AMSR-E passive microwave: frequency index (FI), polarization index (PI), vegetation optical depth (VOD) and soil moisture (SM) products. Similarly, we combined optical and passive microwave indices (multi-sensor model) to estimate weekly G_s values, and evaluated their spatial and temporal synergies. The multi-sensor approach explained 40–80% of LE variance at some sites, with root mean square errors (RMSE) lower than 20 W/m^2 and demonstrated better performance to other satellite-based estimates of LE. The optical indices represented potential G_s associated with the phenological status of the vegetation (e.g. leaf area index, chlorophyll content) at finer spatial resolution. The microwave indices provided information about water availability and moisture stress (e.g. water content in leaves and shallow soil depths, atmospheric demand) at a high temporal resolution, thereby providing a scaling factor for potential G_s. We applied the newly proposed G_s model to estimate LE at regional scale using global meteorological data. Our derivation could be extended to continental scales providing equally robust estimates of LE in arid and semi-arid biomes. A more accurate estimation of G_s and LE across different savannah classes will improve the analysis of water use efficiency under drought conditions, which is of importance to climate change studies of water, carbon and energy cycling.

Índices ópticos

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\rho 2 - \rho 1}{\rho 2 + \rho 1}$$

Índice de vegetación normalizado

$$\mathrm{EVI} = \frac{2.5 * (\rho 2(\rho 1)}{(\rho 2 + 6 * \rho 1 + 6.5 * \rho 3 + 1)}$$

Índice de Vegetación mejorado

$$\mathrm{NDWI} = \frac{\rho 2 - \rho 5}{\rho 2 + \rho 5}$$

Índice de agua normalizado

- ✓ Índices de verdor o de agua
- ✓ Independiente del tipo de cobertura

Índice de microondas pasivas

Índice de Frecuencia

$$\mathrm{FI} = \frac{\mathrm{Tbv\ (Kabanda) - Tbv\ (Xbanda)}}{\mathrm{Tbv(Kabanda) + Tbv\ (Xbanda)}} * 2$$

Índice de Polarización

$$\mathrm{PI} = \frac{\mathrm{Tbv\ (Xbanda) - Tbh\ (Xbanda)}}{\mathrm{Tbv(Xbanda) + Tbh\ (Xbanda)}} * 2$$

**Productos derivados del modelo LPRM, Banda X:
VOD y SM**

- ✓ dependiente del tipo de cobertura y de la longitud de onda

Contenido de agua de la vegetación **Y del suelo**

Diferencias

VOD o SM **versus** **FI o PI**

- ✓ Producto
- ✓ Depende de más parámetros
- ✓ Esta corregido por factores geométricos y por la influencia del suelo

- ✓ Si están bien determinado los parámetros, VOD o SM daría la mejor aproximación

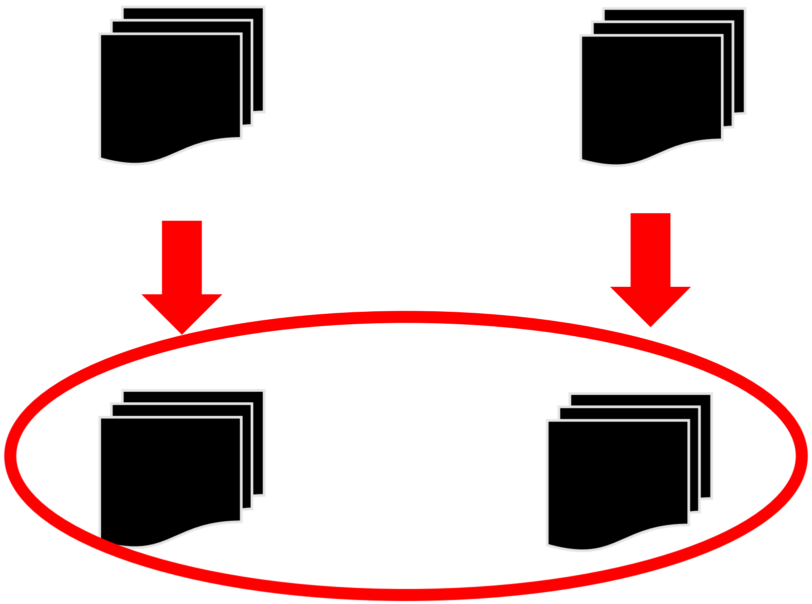
No

- ✓ Índice
- ✓ Depende de las observaciones
- ✓ No esta corregido por factores geométricos, ni por la influencia del suelo

- ✓ **Si bien se utilizaron todos los índices para evaluar cada objetivo particular, solamente se mostraran los mejores resultados obtenidos.**

Variables

ÌNDICES	**MIs**	**VIs**
SENSOR	**AMSR-E**	**MODIS**
Resolución espacial	**25 Km**	**500 m**
Resolución Temporal	**1-3 días**	**8 días**



8 días- 25 km

Metodología propuesta

1-

Invertir la ecuación de PM

$$G_s = \left[\frac{LE.Ga}{\varepsilon.A - (\varepsilon + 1).LE + (\frac{c_p.\rho_{a\,Ga}\,[e_s(Ta) - e_a]}{\gamma})}\right]$$

Penman monteith (PM)

Gs

2-

Gs=f(índices ópticos, índices de microondas pasivas)

Gs observadas: Calibración y Validación

Gs- índices va a depender de la relación de los últimos con las variables biofísicas

3-

ET= PM (Gs, variables meteorológicas)

Set de datos de validación

EC: 8 días

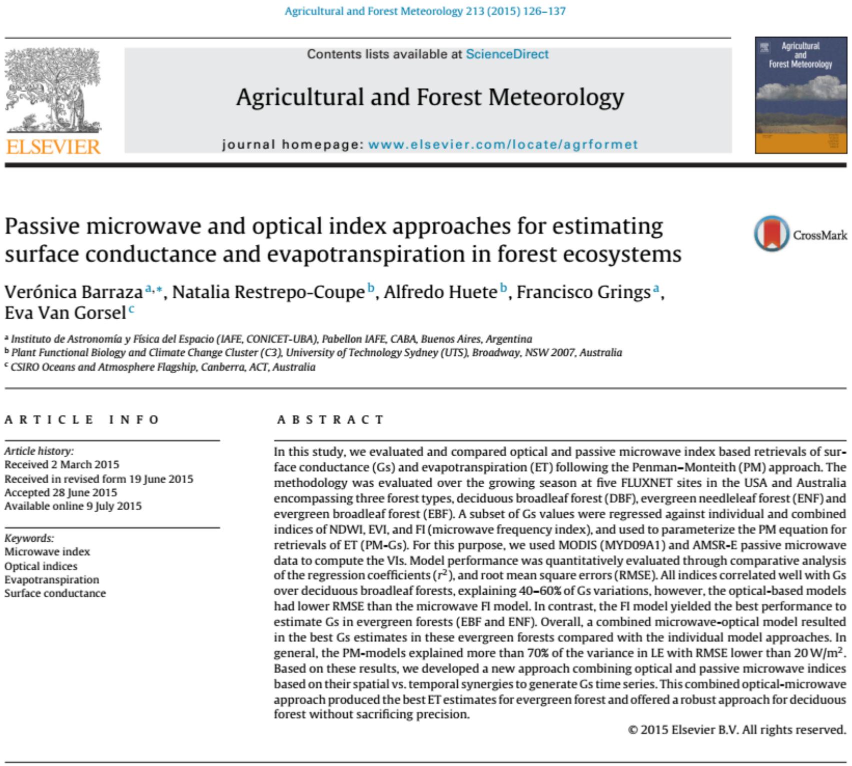
Datos meteorológicos globales: 8 días- 25 km

Penman monteith (PM)

Fuentes de datos:
Datos meteorológicos
Torres de covarianza de torbellino (EC)
Datos meteorológicos globales

Métricas de evaluación de los modelos: R^2 y RMSE.

Estimación y validación de Evapotranspiración y Conductancia superficial en áreas boscosas a partir de datos satelitales utilizando enfoques basados en la ecuación de Penman-Monteith y torres de flujo



Agricultural and Forest Meteorology 213 (2015) 126–137

Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural and Forest Meteorology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agrformet

Passive microwave and optical index approaches for estimating surface conductance and evapotranspiration in forest ecosystems

Verónica Barraza[a,*], Natalia Restrepo-Coupe[b], Alfredo Huete[b], Francisco Grings[a], Eva Van Gorsel[c]

[a] Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA), Pabellon IAFE, CABA, Buenos Aires, Argentina
[b] Plant Functional Biology and Climate Change Cluster (C3), University of Technology Sydney (UTS), Broadway, NSW 2007, Australia
[c] CSIRO Oceans and Atmosphere Flagship, Canberra, ACT, Australia

ARTICLE INFO

Article history:
Received 2 March 2015
Received in revised form 19 June 2015
Accepted 28 June 2015
Available online 9 July 2015

Keywords:
Microwave index
Optical indices
Evapotranspiration
Surface conductance

ABSTRACT

In this study, we evaluated and compared optical and passive microwave index based retrievals of surface conductance (Gs) and evapotranspiration (ET) following the Penman–Monteith (PM) approach. The methodology was evaluated over the growing season at five FLUXNET sites in the USA and Australia encompassing three forest types, deciduous broadleaf forest (DBF), evergreen needleleaf forest (ENF) and evergreen broadleaf forest (EBF). A subset of Gs values were regressed against individual and combined indices of NDWI, EVI, and FI (microwave frequency index), and used to parameterize the PM equation for retrievals of ET (PM-Gs). For this purpose, we used MODIS (MYD09A1) and AMSR-E passive microwave data to compute the VIs. Model performance was quantitatively evaluated through comparative analysis of the regression coefficients (r^2), and root mean square errors (RMSE). All indices correlated well with Gs over deciduous broadleaf forests, explaining 40–60% of Gs variations, however, the optical-based models had lower RMSE than the microwave FI model. In contrast, the FI model yielded the best performance to estimate Gs in evergreen forests (EBF and ENF). Overall, a combined microwave-optical model resulted in the best Gs estimates in these evergreen forests compared with the individual model approaches. In general, the PM-models explained more than 70% of the variance in LE with RMSE lower than $20\,W/m^2$. Based on these results, we developed a new approach combining optical and passive microwave indices based on their spatial vs. temporal synergies to generate Gs time series. This combined optical-microwave approach produced the best ET estimates for evergreen forest and offered a robust approach for deciduous forest without sacrificing precision.

Barraza et al., 2015

OBJETIVO:

- **Evaluar la estimación de ET combinado información de índices de vegetación de microondas pasivas y ópticos utilizando el enfoque de Penman-Monteith (PM) para diferentes ecosistemas boscosos de EE.UU y Australia.**

En particular:

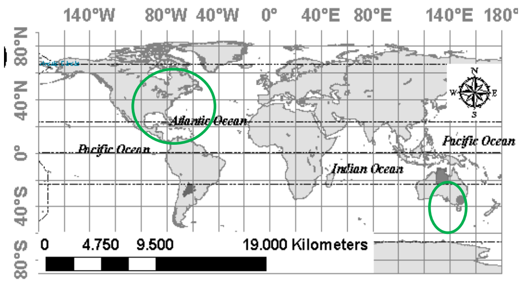
1) **evaluar la capacidad de los índices de microondas y ópticos para estimar Gs y ET;**

2) **evaluar la capacidad de estimar ET combinando información satelital para estimar Gs e información meteorológica;**

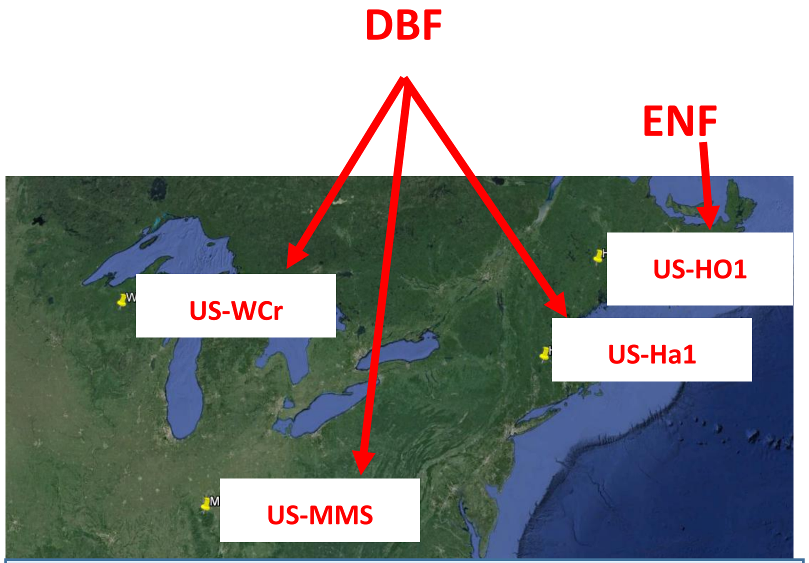
3) **comparar ambos enfoques (óptico y microondas), evaluando el error en la estimación de Gs y ET independientemente,**

4) **proponer nuevos modelos basados en la combinación de índices ópticos y de microondas.**

FLUXNET

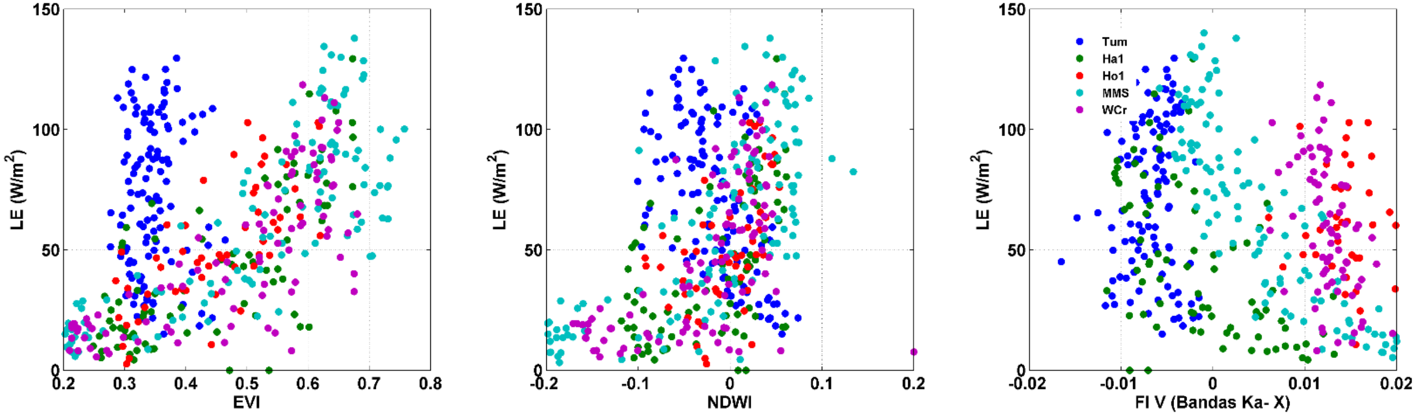


Los datos de las torres (EC) fueron filtrados en función de la QA/QC utilizando un protocolo estándar. Se agregaron los datos EC a valores promedios cada 8-días.



Aclaración: se filtraron los datos tantos de las torres como de los índices para la época invernal (presencia de nieve).
Trabajo temporada de crecimiento

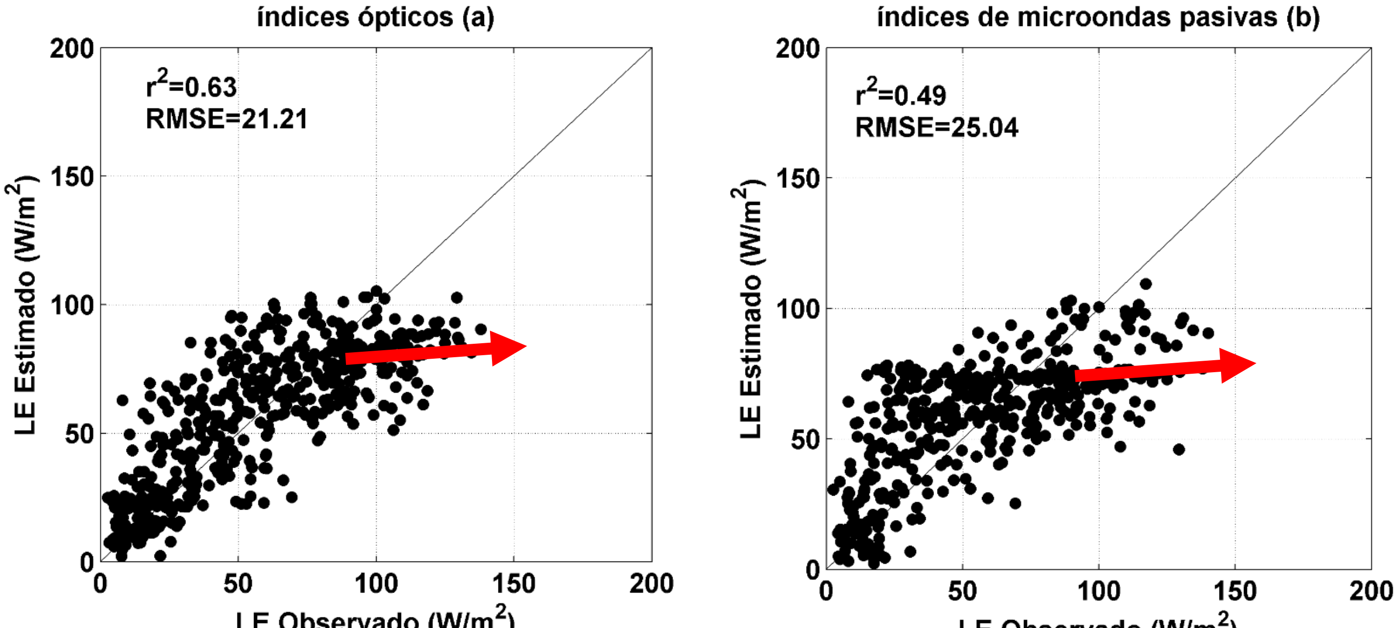
1- LE- VI-FI



Ec. exponencial

Ec. polinómica

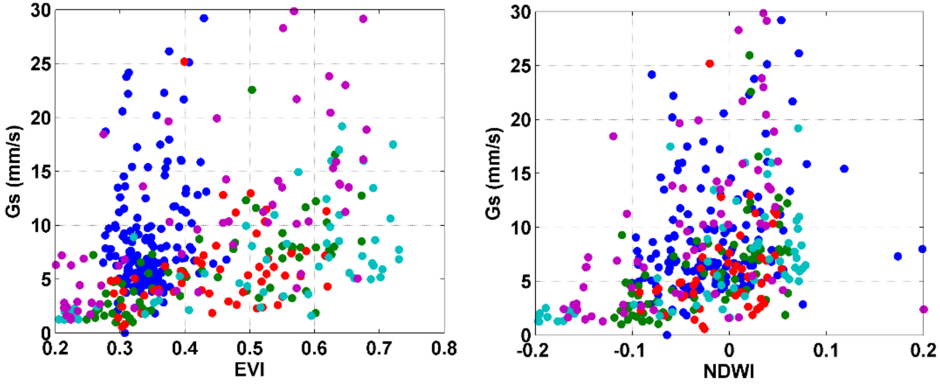
Resultados


índices ópticos (a)

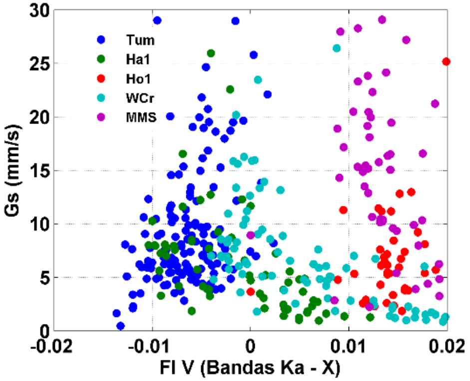
índices de microondas pasivas (b)

2- GS-VI-FI

Ec. exponencial



Ec. polinómica



Invertir la ecuación de PM

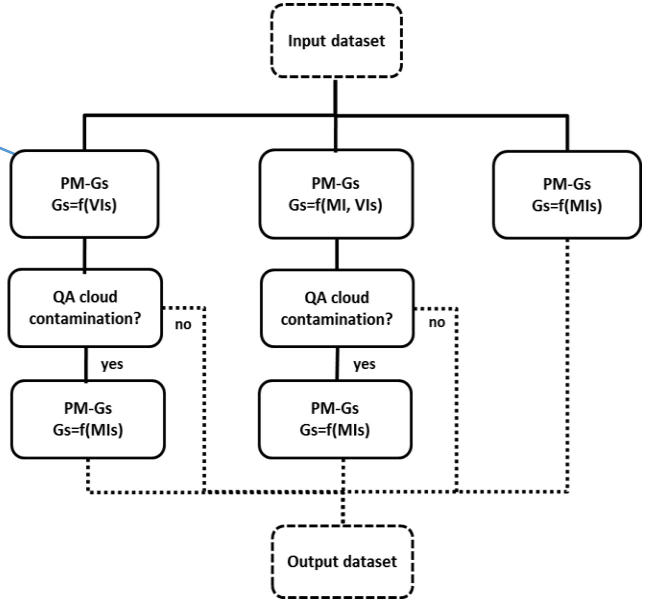
Gs

Gs=f(índices ópticos, índices de microondas pasivas)

ET= PM (Gs, variables meteorológicas)

Múltiples

Regresión múltiple



Input dataset

PM-Gs
Gs=f(VIs)

PM-Gs
Gs=f(MI, VIs)

PM-Gs
Gs=f(MIs)

QA cloud contamination?

no

yes

PM-Gs
Gs=f(MIs)

QA cloud contamination?

no

yes

PM-Gs
Gs=f(MIs)

Output dataset

Resultados

- **El modelo de EVI presentó el mejor ajuste, con valores de r2 >0,6, para todos los bosques deciduos (DBF) . La validación : 30-60% de la varianza de Gs, con valores de RMSE que varían entre 2,5-3,0 mm/s.**

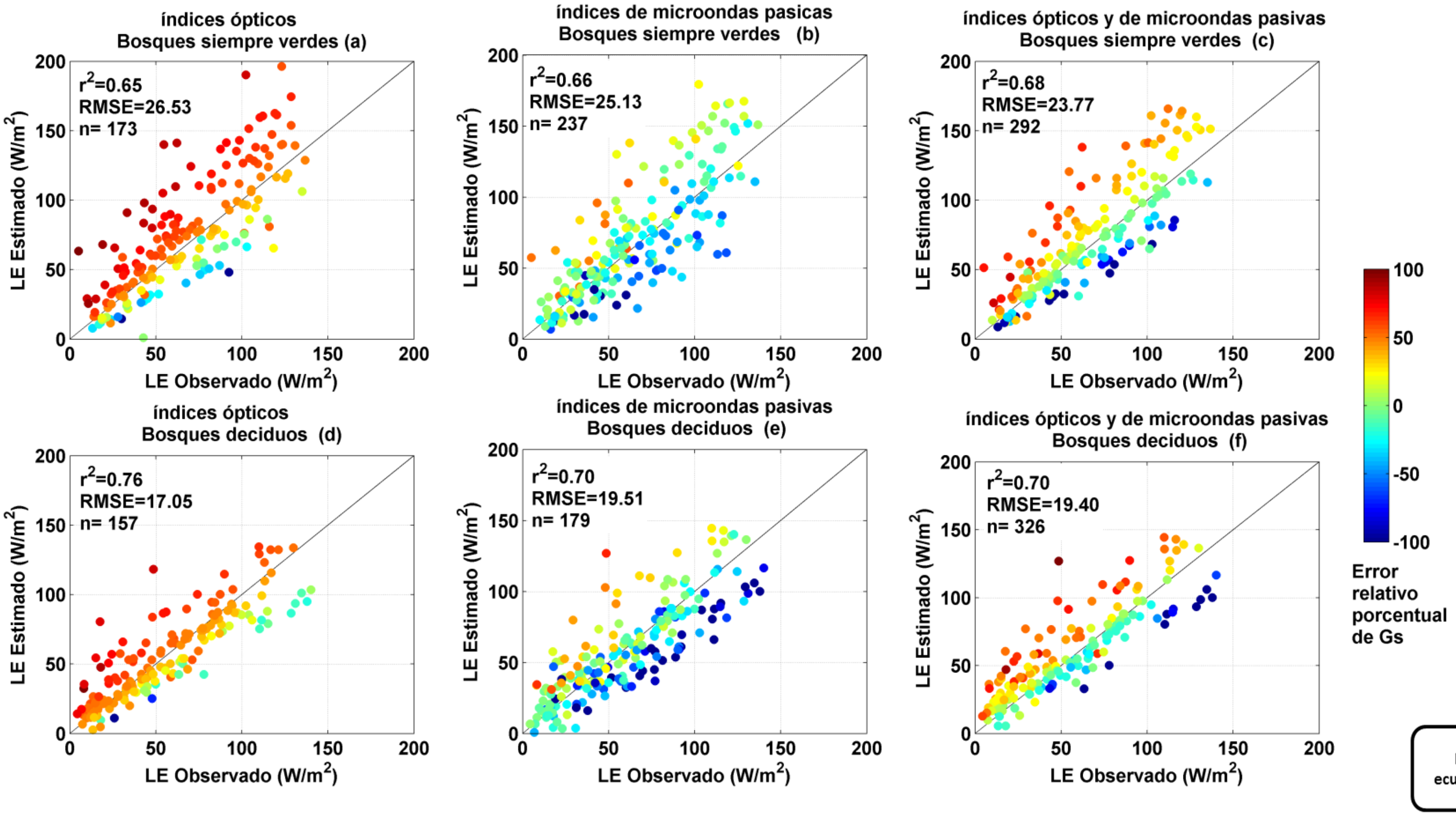
- **Para los bosques deciduos (DBF) el modelo de FI muestra valores de r2 similares a los obtenidos con el índice EVI, pero con valores de RMSE mayores.**

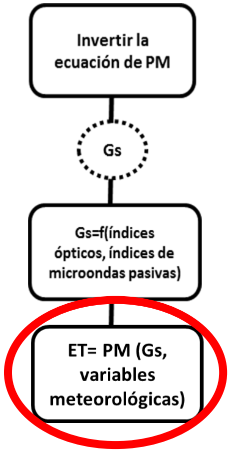
- **El modelo de FI, EVI-FI explicaron un 20% de la varianza de Gs para los bosques siempre verdes (EBF, ENF). Los índices ópticos solamente un 10%. Los valores de RMSE varían entre 2,65-4 mm/s.**

Ópticos N= 173 y 157

Nombre	IGBP	VI-FI- multisensor					
		VI-FI	n	r^2_{IGBP}	RMSE (W/ m^2)	$r^2_{Gso-Gse}$	RMSE (W/ m^2)
Tum	EBF	EVI-FI	292	0,20	3,54	0,20	3,77
Ho1	ENF	NDWI-FI				0,20	2,61
Ha1	DBF	NDWI	326	0,45	3,39	0,42	2,82
MMS	DBF	NDWI				0,50	3,32
WCr	DBF	EVI				0,75	3,37

LE (GS-PM)





- Para los **bosques siempre verdes el modelo multisensor** y para **los bosques deciduos el modelo Gs-VIs** resultaron ser los mejores modelos, respectivamente, en función a las métricas de evaluación.

- Para los **bosques deciduos el modelo multisensor es una aproximación robusta** (r2 y RMSE) **aumentando en más del 50% el número de datos** disponibles.

Conclusiones

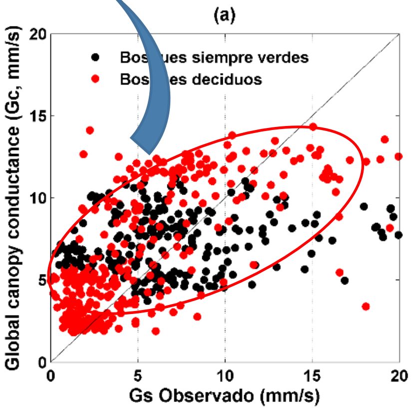
- **Las estimaciones de LE obtenido según el enfoque PM-Gs resultaron ser mejores, en términos de r^2 y RMSE, que las estimaciones derivadas de regresiones directas entre VIs o FI y LE.**

- **Los resultados obtenidos mostraron que ambos índices ópticos, NDWI y EVI, se encuentran relacionados con las variaciones de Gs en bosques deciduos, lo que posibilita el uso de información satelital para estimar dicho parámetro.**

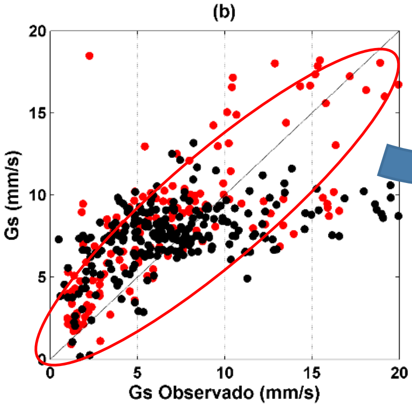
- **En general, más del 40% de las variaciones en Gs se ha explicado utilizando series de tiempo de índices de microondas, lo que se corresponde con lo obtenido por Min y Lin, [2006].**

DBF: 20-40% y EBF / ENF= 0-36% (doble de error)

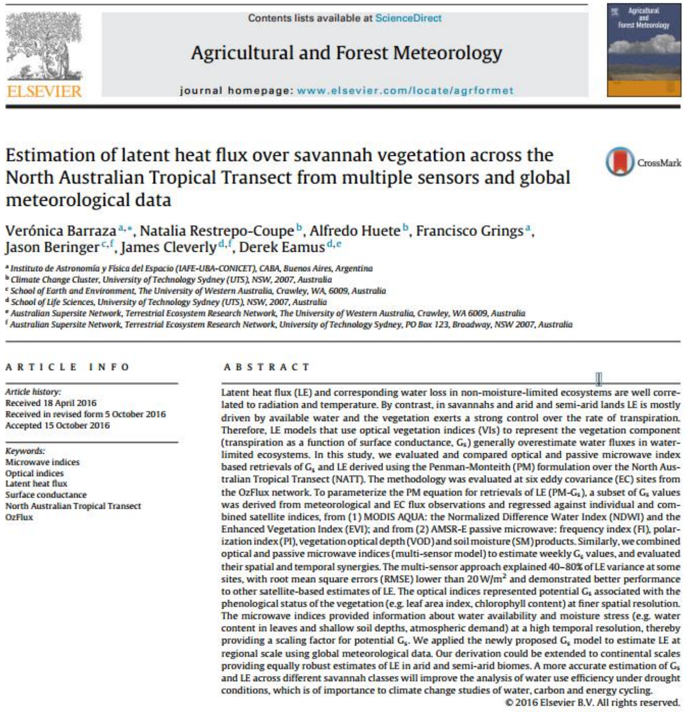
Yebra et al., (2013)



DBF: 40-75% y EBF / ENF= 20%



Estimación de la conductancia superficial y evapotranspiración a lo largo de la transecta del norte de Australia usando múltiples sensores



Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural and Forest Meteorology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agrformet

Estimation of latent heat flux over savannah vegetation across the North Australian Tropical Transect from multiple sensors and global meteorological data

Verónica Barraza[a,*], Natalia Restrepo-Coupe[b], Alfredo Huete[b], Francisco Grings[a], Jason Beringer[c,f], James Cleverly[d,f], Derek Eamus[d,e]

[a] Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE-UBA-CONICET), CABA, Buenos Aires, Argentina
[b] Climate Change Cluster, University of Technology Sydney (UTS), NSW, 2007, Australia
[c] School of Earth and Environment, The University of Western Australia, Crawley, WA, 6009, Australia
[d] School of Life Sciences, University of Technology Sydney (UTS), NSW, 2007, Australia
[e] Australian Supersite Network, Terrestrial Ecosystem Research Network, The University of Western Australia, Crawley, WA 6009, Australia
[f] Australian Supersite Network, Terrestrial Ecosystem Research Network, University of Technology Sydney, PO Box 123, Broadway, NSW 2007, Australia

ARTICLE INFO

Article history:
Received 18 April 2016
Received in revised form 5 October 2016
Accepted 15 October 2016

Keywords:
Microwave indices
Optical indices
Latent heat flux
Surface conductance
North Australian Tropical Transect
OzFlux

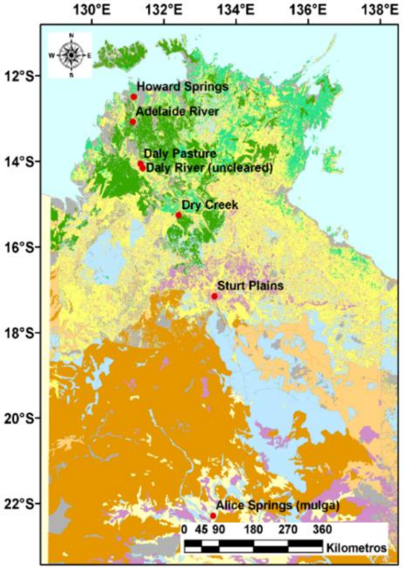
ABSTRACT

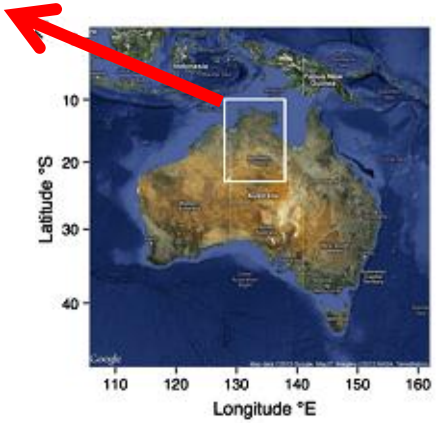
Latent heat flux (LE) and corresponding water loss in non-moisture-limited ecosystems are well correlated to radiation and temperature. By contrast, in savannahs and arid and semi-arid lands LE is mostly driven by available water and the vegetation exerts a strong control over the rate of transpiration. Therefore, LE models that use optical vegetation indices (VIs) to represent the vegetation component (transpiration as a function of surface conductance, G_s) generally overestimate water fluxes in water-limited ecosystems. In this study, we evaluated and compared optical and passive microwave index based retrievals of G_s and LE derived using the Penman-Monteith (PM) formulation over the North Australian Tropical Transect (NATT). The methodology was evaluated at six eddy covariance (EC) sites from the OzFlux network. To parameterize the PM equation for retrievals of LE (PM-G_s), a subset of G_s values was derived from meteorological and EC flux observations and regressed against individual and combined satellite indices, from (1) MODIS AQUA: the Normalized Difference Water Index (NDWI) and the Enhanced Vegetation Index (EVI); and from (2) AMSR-E passive microwave: frequency index (FI), polarization index (PI), vegetation optical depth (VOD) and soil moisture (SM) products. Similarly, we combined optical and passive microwave indices (multi-sensor model) to estimate weekly G_s values, and evaluated their spatial and temporal synergies. The multi-sensor approach explained 40–80% of LE variance at some sites, with root mean square errors (RMSE) lower than 20 W/m^2 and demonstrated better performance to other satellite-based estimates of LE. The optical indices represented potential G_s associated with the phenological status of the vegetation (e.g. leaf area index, chlorophyll content) at finer spatial resolution. The microwave indices provided information about water availability and moisture stress (e.g. water content in leaves and shallow soil depths, atmospheric demand) at a high temporal resolution, thereby providing a scaling factor for potential G_s. We applied the newly proposed G_s model to estimate LE at regional scale using global meteorological data. Our derivation could be extended to continental scales providing equally robust estimates of LE in arid and semi-arid biomes. A more accurate estimation of G_s and LE across different savannah classes will improve the analysis of water use efficiency under drought conditions, which is of importance to climate change studies of water, carbon and energy cycling.

Barraza et al., (2017)

OBJETIVOS:

- **Evaluar y comparar la estimación de Gs a partir de una combinación de índices ópticos y de microondas pasivas con observaciones de EC.**
- **Evaluar el desempeño del modelo de Gs en la estimación de ET a nivel local (combinando con EC) y regional (datos meteorológicos globales).**



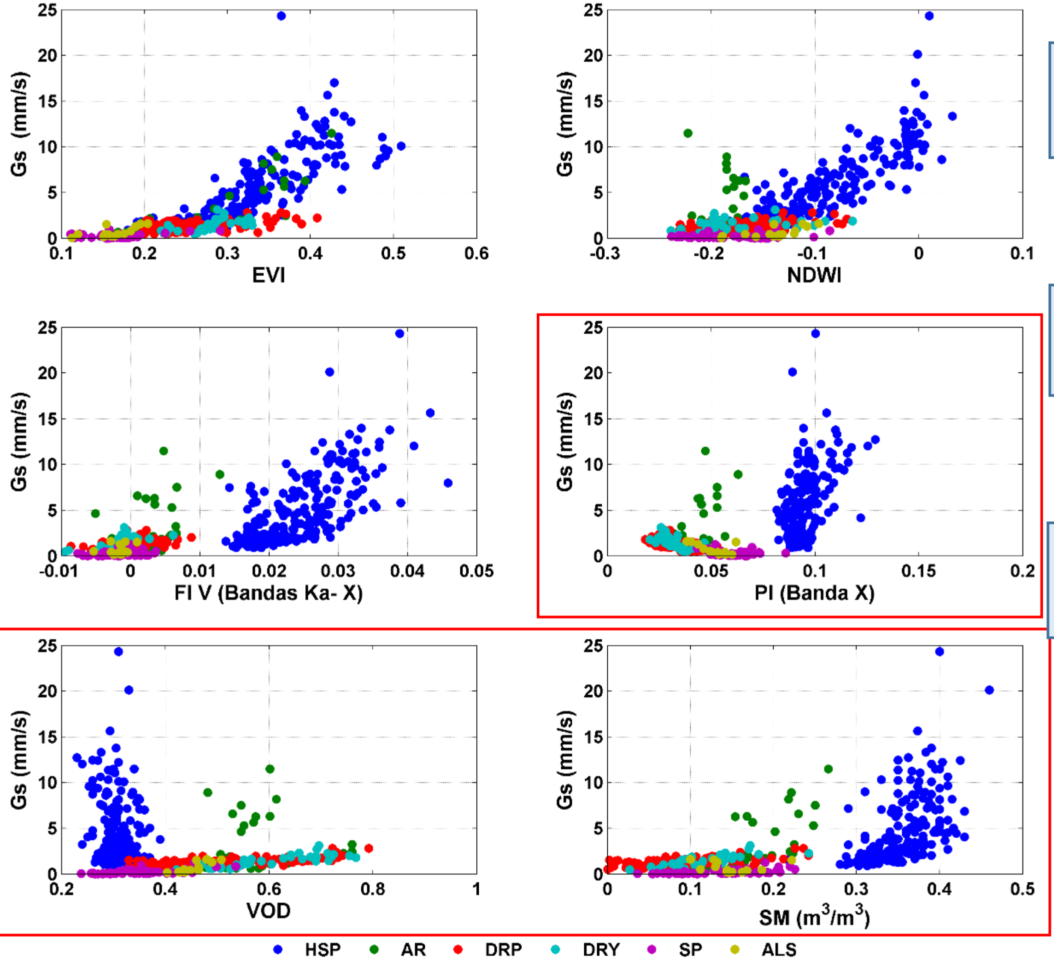


Invertir la ecuación de PM

Gs

Gs=f(índices ópticos, índices de microondas pasivas)

ET= PM (Gs, variables meteorológicas)



Ec. Polinómica: FI, PI, VOD y SM

Ec. Exponencial: NDWI y EVI

Regresión múltiple

Multisensor

Otras coberturas presentes en NATT

Multisitio

Métricas de evaluación de los modelos: R^2 y RMSE.

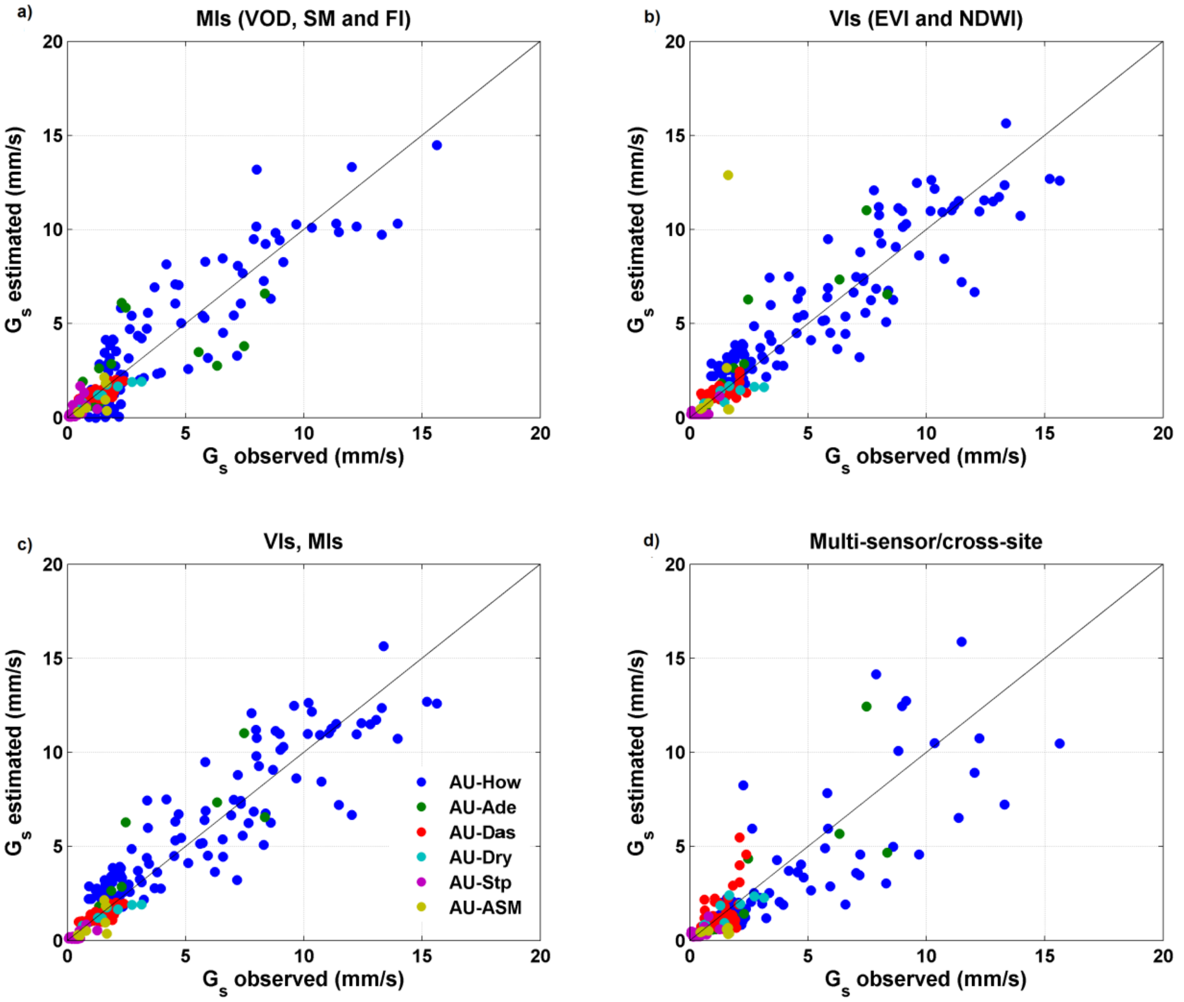
TELEDETECCIÓN
CUANTITATIVA
DIVISIÓN TERRESTRE

Table 3
Summary
is the coe
square err
on this an
AU-Stp; S

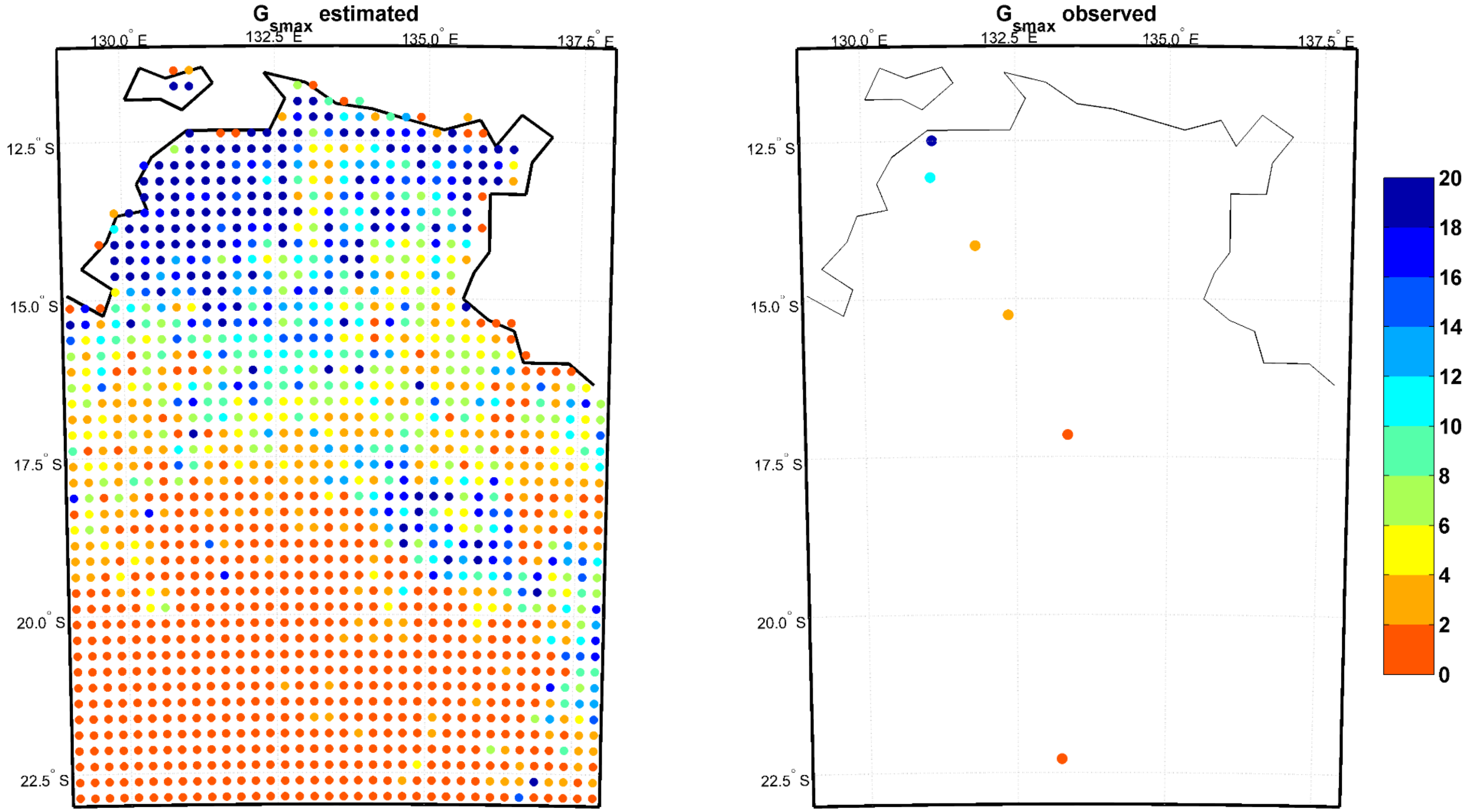
The r$^2_{Gso-Gse}$
is root mean
TT) included
2010–2011),

Name	n
AU-Hov	116
AU-Ade	18
AU-DaS	52
AU-Dry	15
AU-Stp	26
AU-ASN	7

Name	n
AU-Hov	118
AU-Ade	20
AU-DaS	58
AU-Dry	15
AU-Stp	26
AU-ASN	7



- **Ninguno de los índices resulto ser la mejor aproximación para todas las cobertura.**
- **El modelo multisensor obtuvo similar o mayores valores de r2 y menor RMSE.**



**Son valores bajos de Gs (altos valores de resistencia).
Se corresponden con los encontrados en la literatura (rango de 0.00002– 2.0967 mmolH2O/m2s según Chao Chen et al. 2009; O'Grady et al., 2009)**

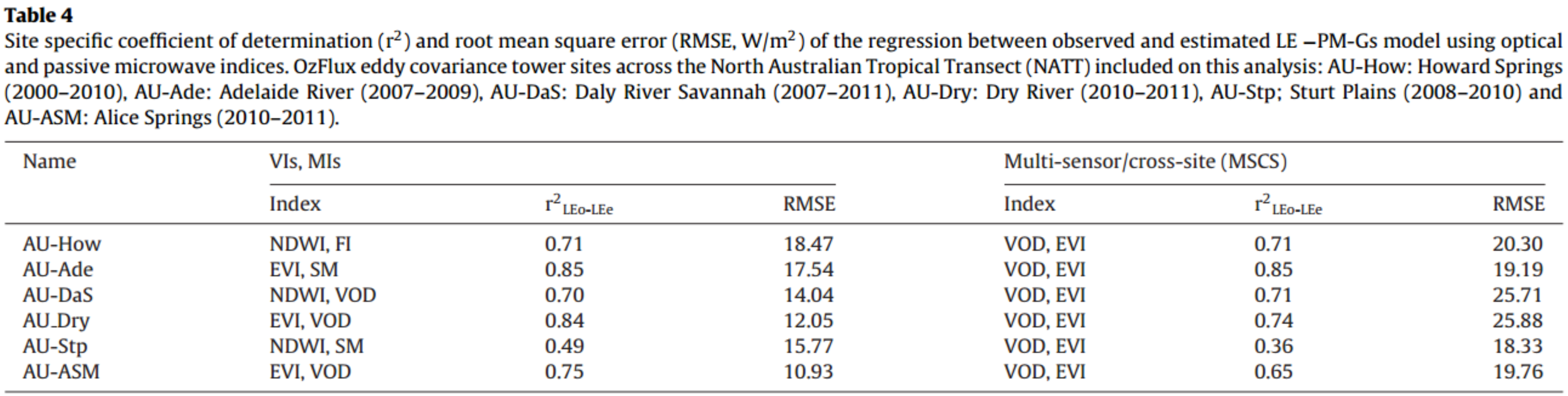
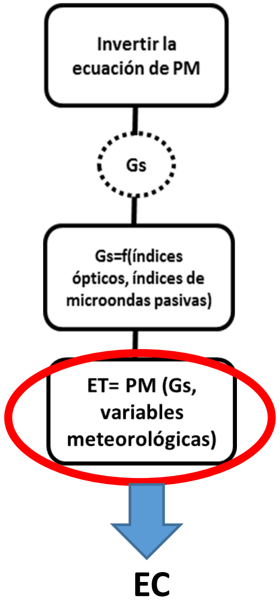


Table 4

Site specific coefficient of determination (r^2) and root mean square error (RMSE, W/m^2) of the regression between observed and estimated LE –PM-Gs model using optical and passive microwave indices. OzFlux eddy covariance tower sites across the North Australian Tropical Transect (NATT) included on this analysis: AU-How: Howard Springs (2000–2010), AU-Ade: Adelaide River (2007–2009), AU-DaS: Daly River Savannah (2007–2011), AU-Dry: Dry River (2010–2011), AU-Stp; Sturt Plains (2008–2010) and AU-ASM: Alice Springs (2010–2011).

Name	VIs, MIs			Multi-sensor/cross-site (MSCS)		
	Index	$r^2_{LEo-LEe}$	RMSE	Index	$r^2_{LEo-LEe}$	RMSE
AU-How	NDWI, FI	0.71	18.47	VOD, EVI	0.71	20.30
AU-Ade	EVI, SM	0.85	17.54	VOD, EVI	0.85	19.19
AU-DaS	NDWI, VOD	0.70	14.04	VOD, EVI	0.71	25.71
AU_Dry	EVI, VOD	0.84	12.05	VOD, EVI	0.74	25.88
AU-Stp	NDWI, SM	0.49	15.77	VOD, EVI	0.36	18.33
AU-ASM	EVI, VOD	0.75	10.93	VOD, EVI	0.65	19.76



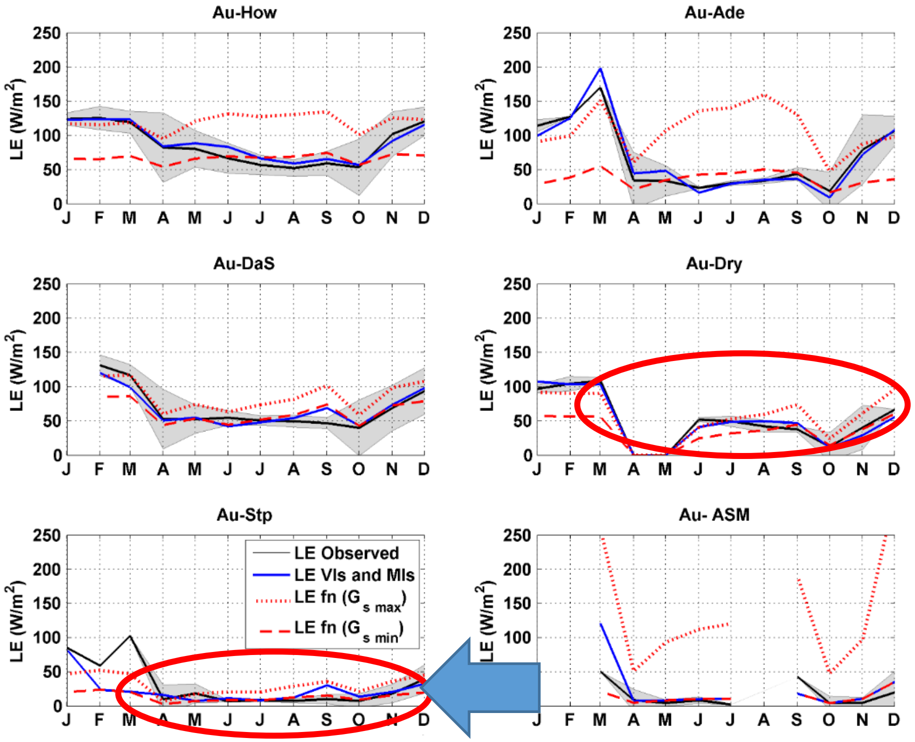
Invertir la ecuación de PM

Gs

Gs=f(índices ópticos, índices de microondas pasivas)

ET= PM (Gs, variables meteorológicas)

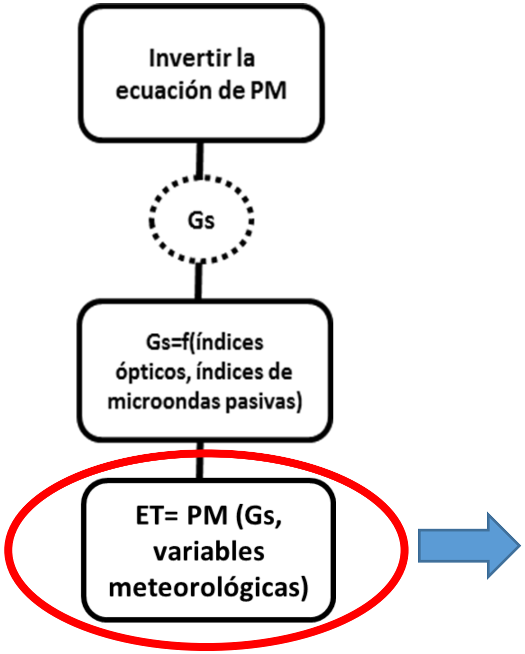
EC



Los resultados muestran la importancia de Gs para la estimación de LE

Gs cercano a Gs min (mayor control estomático)

Gs cercano a Gs max (menor control estomático)



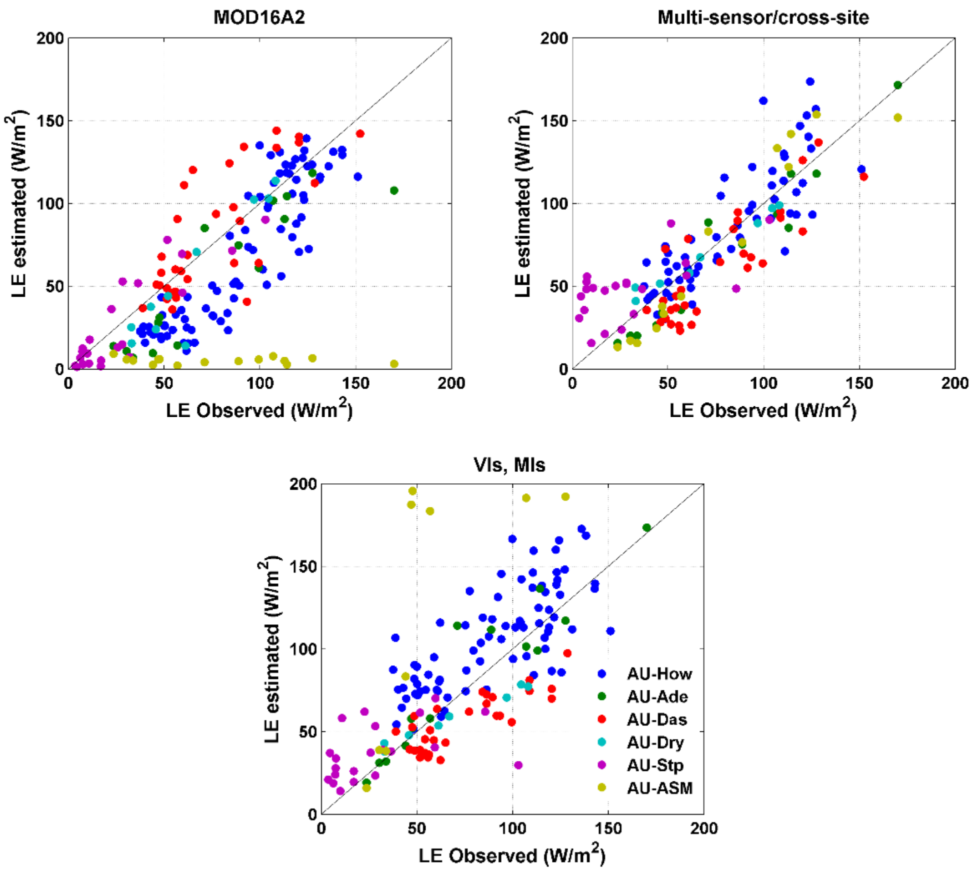
Invertir la ecuación de PM

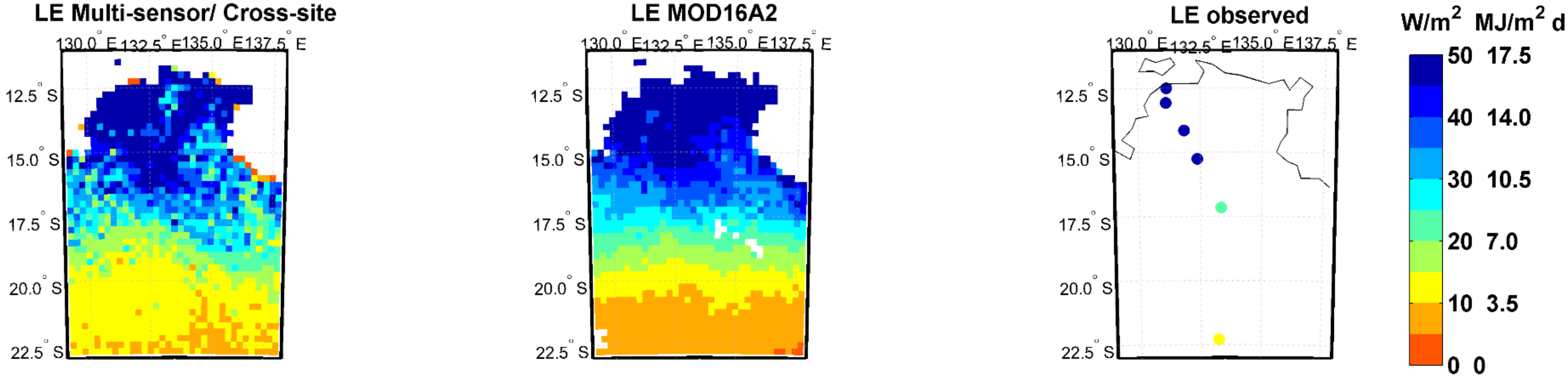
Gs

Gs=f(índices ópticos, índices de microondas pasivas)

ET= PM (Gs, variables meteorológicas)

GLDAS-NOAH
MERRA



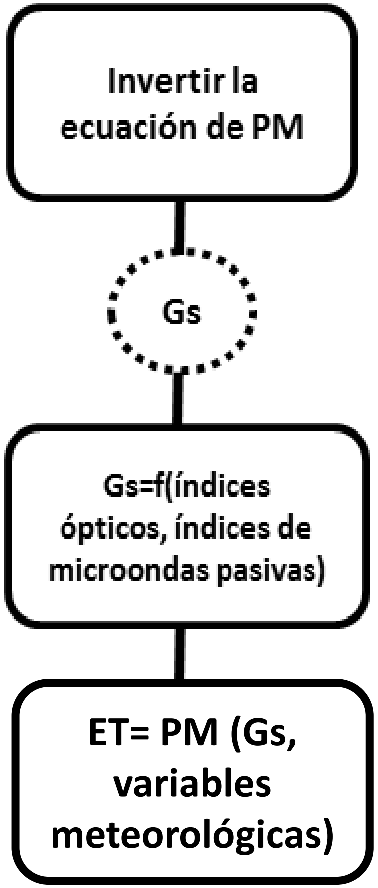


Conclusiones

- El modelo multisensor resulto ser el mejor en términos de r^2, RMSE y N, tanto para estimar Gs como LE.
- El modelo multisitio (VOD, EVI) permitió extrapolar las estimaciones de Gs para otros tipos de coberturas presentes en NATT.
- Se generaron los mapas regionales de Gs para evaluar la variabilidad espacial de esta variable calculada utilizando el enfoque multisensor y mutisitio sobre el área de estudio NATT.
- Se evidencio una degradación en el desempeño del modelo (r^2 y RMSE) debido al reemplazo de datos meteorológicos medidos por re-análisis.
- MOD16A2 presenta una mejor performance en términos de las métricas de evaluación en algunos casos (ej: HSP), se deben a subestimaciones para valores bajos de LE y sobrestimaciones para valores altos de LE.
- El producto MS y MOD16A2 representan los patrones espaciales razonablemente (en función del gradiente de vegetación y precipitaciones).
- El modelo propuesto mejora la estimación de LE en comparación con los otros productos analizados.

Conclusiones finales

Modelo



Invertir la ecuación de PM

Gs

Gs=f(índices ópticos, índices de microondas pasivas)

ET= PM (Gs, variables meteorológicas)

Ventajas:

- **Fácil aplicación.**
- **Al combinar VIs y MIs permite mejorar la estimación satelital de Gs, y en consecuencia de ET.**
- **Series completas tanto de Gs como de ET.**
- **Realizó un avance con respecto al trabajo de Yebra et al . (2013) y Li et al (2009).**
- **Permite evaluar desde escalas locales a regionales.**

Desventajas:

- **Las relaciones Gs-(VIs, MIs) son dependientes del tipo de cobertura.**
- **Los supuestos que se realizan sobre la relación entre las variables físicas y biofísicas dependen del tipo de cobertura.**
- **Incompatibilidades debido a diferencias en las escalas espaciales.**
- **Los errores mayores al utilizar set de datos meteorológicos que datos in-situ.**

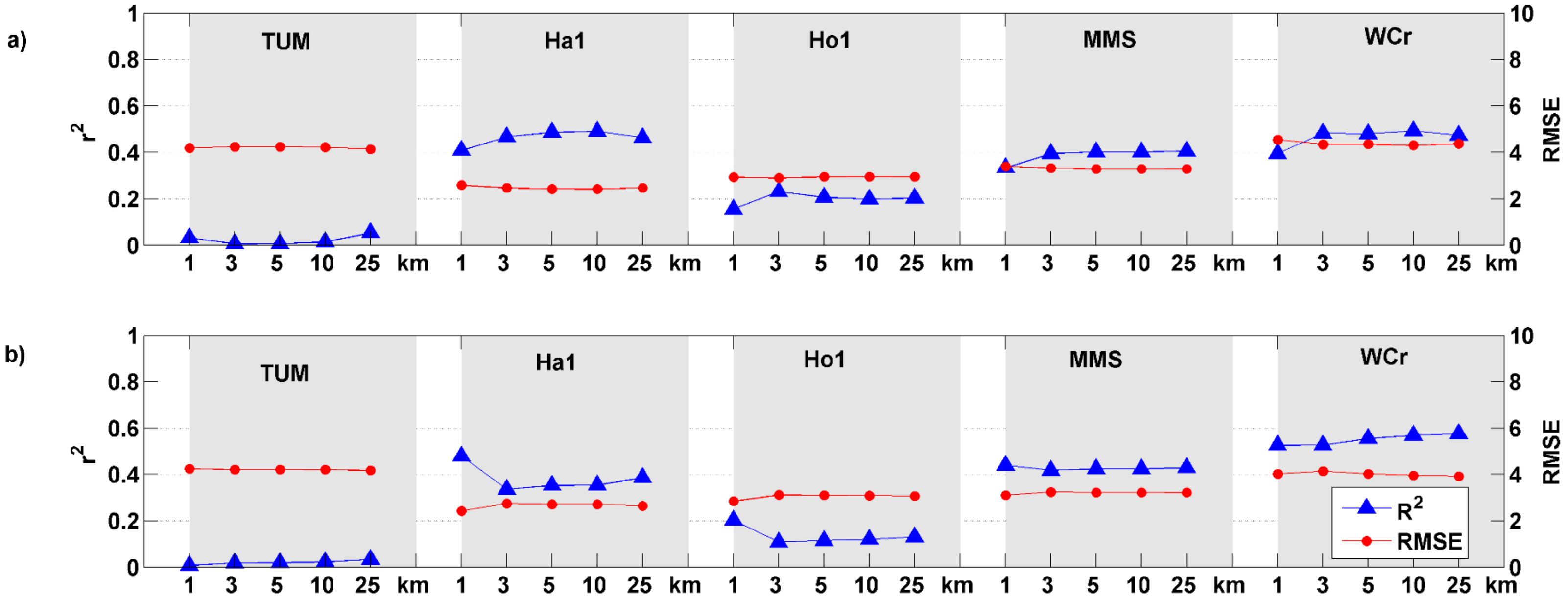
ERRORES

Relación footprint torres versus sensor

Relación instrumentos EC footprint: regresión tipo II

Errores asociados a la geolocalización de los pixeles de MODIS y AMSR-E : ambos están en la plataforma AQUA

Regresión tipo II



GRACIAS