

# Análisis de las pérdidas de propagación medidas en una plantación de cítricos en las bandas de 1800 MHz, 2100 MHz, 3.5 GHz y 28 GHz en una situación de LoS

Leandro Juan-Llácer<sup>(1)</sup>, Luís Martínez Rubiola<sup>(1)</sup>, José María Molina-García-Pardo<sup>(1)</sup>, María Teresa Martínez-Inglés<sup>(2)</sup>, José-Víctor Rodríguez<sup>(1)</sup>, Juan Pascual-García<sup>(1)</sup>, Marta Cabedo-Fabrés<sup>(3)</sup>, Miguel Ferrando-Bataller<sup>(3)</sup>

leandro.juan@upct.es, josemaria.molina@upct.es, mteresa.martinez@ud.upct.es, jvictor.rodriguez@upct.es, juan.pascual@upct.es, marcafab@dcom.upv.es, mferrand@dcom.upv.es

<sup>(1)</sup> Dep. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Murcia, España

<sup>(2)</sup> Centro Universitario de la Defensa, Ministerio de Defensa, San Javier, España

<sup>(3)</sup> Dpto. de Comunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

**Abstract-** Agriculture 4.0 is going to represent a massive deployment of sensors, so efficient planning of radiocommunication systems in this type of environment will be necessary. In this work, the measured path loss in a LoS situation, with the transmitter and receiver heights below the trees height, at a citrus plantation in the 1800MHz, 2100MHz, 3.5GHz and 28GHz frequency bands using the FI (Floating Intercept) and the CI (Close-In reference) models has been analyzed. It has been observed that from 3.5GHz, the slope of the FI model also represents the propagation exponent (*PLE*). Furthermore, a guiding effect (*PLE* less than 2) has been observed in the 1800MHz and 2100MHz bands, not in the 3.5GHz and 28GHz bands, in which the *PLE* is practically equal to 2 (free space). Finally, the analysis of the polarization reveals that the standard deviation of the measured values with respect to the values obtained from the models is greater for horizontal than vertical polarization in the 1800MHz and 2100MHz frequency bands.

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura 4.0 [1] va a llevar consigo el despliegue masivo de sensores en este tipo de entorno. Para una planificación eficiente de los sistemas de radiocomunicaciones es necesario la utilización de herramientas informáticas [2] que incorporan modelos de propagación [3]. Por tanto, se hace necesario caracterizar el canal de radiocomunicaciones en este tipo de entornos tanto en las bandas de frecuencias de sistemas existentes 4G como de futuros sistemas 5G.

En el sector agrícola, las plantaciones de cítricos (limoneros, naranjos, mandarinos y pomelos) tienen una especial relevancia. En 2019, La superficie total de cítricos cosechada en el mundo y la cantidad de producción se estimaron en 9,92 millones de hectáreas y 158 millones de toneladas, respectivamente [4] [5].

Estas plantaciones siguen un marco que viene definido por la distancia entre filas y la distancia entre los árboles en una misma fila (ver Fig. 1) y se lleva a cabo de tal forma que la distancia entre filas es mayor que la distancia entre árboles, dejando un camino (calle) entre filas.

En el trabajo que se presenta, se ha considerado un camino de visión directa entre el transmisor y el receptor (*Line of Sight*, LoS), cuyas alturas están por debajo de la altura media de los árboles, en una de las calles en una plantación de limoneros y se analizan las pérdidas de propagación medidas

en bandas de frecuencia de 1800 MHz y 2100MHz (sistemas 4G) y bandas de 3.5GHz y 28 GHz (sistemas 5G) [6]. En la sección II se describen el entorno de propagación, el sistema de medidas empleado y el procedimiento de medidas. Las expresiones que calculan tanto las pérdidas por propagación como los modelos de ajuste mediante rectas de regresión de las medidas en función de la distancia entre el transmisor y el receptor se presentan en la sección III. Los resultados se analizan en la sección V. Finalmente, en la sección VI se presentan las conclusiones.



Figura 1. Plantación de limoneros y entorno de propagación.

## II. ENTORNO DE PROPAGACIÓN Y SISTEMA DE MEDIDAS

### A. Entorno de propagación

Las medidas fueron llevadas a cabo en una situación de visión directa LoS en mitad de una calle entre filas de una plantación de limoneros de la empresa FRUCA situada en el valle de Carrascoy en la Región de Murcia (ver Fig. 1). El marco de plantación es 7.5x5.5m, es decir, 7.5m. entre filas y 5.5 m. entre limoneros de la misma fila. La altura media de los árboles es de 2.8 m y la anchura media de la calle es de 2.5m.

### B. Sistema de medidas

El sistema de medidas utilizado (ver Fig. 2) se basa en el analizador de redes VNA ZVK (10MHz-40GHz) de Rhode&Schwarz. Además, se han utilizado 2 convertidores

electro-ópticos (EMCORE, Optiva OTS-2, 50MHz-40 GHz), cables y conectores y diversas antenas para cubrir las bandas de frecuencia medidas: Bicónicas (SCHWARZBECK SBA 9113), omnidireccionales (STEATITE QOM-SL-0.8-40-K-SG-L) y directivas (STEATITE QSH-SL-26-40-K-20). En la Tabla I se recogen los parámetros de estas antenas.

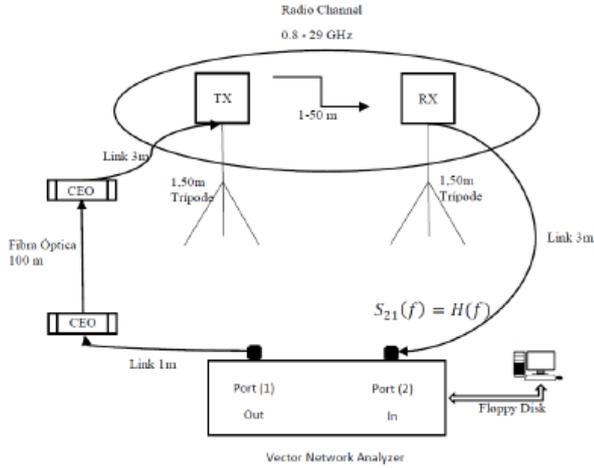


Figura 2. Sistema de medidas

TABLA I  
PARÁMETROS DE LAS ANTENAS

	Bicónica	Omnidireccional	Directiva
Rango de frecuencias	500MHz-3GHz	800MHz-40GHz	26GHz-40GHz
Ganancia	-1.5 dBi-1.5dBi	-2.2 dBi - 5.9dBi	17.7dBi - 20.9dBi
Ancho de haz a 3dB (azimut)	NA	NA	14.5° - 22.5°
Ancho de haz a 3dB (elevación)	80° - 50°	160° - 18°	22.5°-14.5°



Figura 3. Vista de la situación LoS y sistema de medidas

### C. Procedimiento de medidas

Las medidas se han realizado en una situación de visión directa LoS entre el transmisor y el receptor en una de las calles (ver Fig. 3). El transmisor y el receptor tienen la misma altura de 1.5m, por debajo de la altura media de los árboles. El receptor ha permanecido fijo en una posición y el transmisor se ha ido variando de posición desde 2 a 50 m en pasos de 2m. Para cada posición entre el transmisor y el receptor se ha medido la función de transferencia del canal  $H_m(f)=S_{21}(f)$ , realizando un calibrado previo en cada una de las bandas de frecuencias medidas. La Tabla II recoge los principales parámetros introducidos en el analizador para cada una de las bandas medidas: la frecuencia central, el rango de frecuencia (SPAN) y el número de muestras en frecuencias medidas ( $N$ ).

TABLA II  
PARÁMETROS INTRODUCIDOS EN EL ANALIZADOR DE REDES

Frecuencia central	1800MHz	2100MHz	3.5GHz	28GHz
SPAN	500MHz	500MHz	1GHz	2GHz
$N$	501	501	2001	2001

### III. PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN MEDIDAS Y MODELOS DE AJUSTE

#### A. Pérdidas de propagación

Para cada posición entre el transmisor y el receptor, las pérdidas en banda ancha medidas se calculan con la siguiente expresión:

$$PL_m(d) = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |H_m(f_n, d)|^2 \right) \quad (1)$$

donde  $d$  es la distancia entre el transmisor y el receptor, y  $f_n$  es la muestra  $n$  de frecuencia.

#### B. Modelos de ajuste

Para el análisis de las medidas vamos a utilizar 2 modelos de ajuste diferentes: el modelo FI (*Floating Intercept*, en inglés) y el CI (*Close-In*, en inglés).

En el modelo FI las pérdidas se ajustan mediante la siguiente expresión:

$$L_{FI}(dB) = \alpha + \beta 10 \log_{10}(d) + \chi_{\sigma FI} \quad (2)$$

donde  $\alpha$  (en dB) y  $\beta$  (pendiente) son parámetros de ajuste,  $d$  la distancia entre transmisor y receptor en metros, y  $\chi_{\sigma FI}$  una variable aleatoria gaussiana de media cero y desviación estándar  $\sigma_{FI}$  en dB.

En el modelo CI las pérdidas se ajustan mediante la expresión:

$$L_{CI}(dB) = L_o(d_o) + PLE 10 \log_{10} \left( \frac{d}{d_o} \right) + \chi_{\sigma CI} \quad (3)$$

donde  $L_o(d_o)$  (en dB) son las pérdidas de referencia a una distancia de referencia  $d_o$  (1m en nuestro caso),  $PLE$  (*Path Loss Exponent*, en inglés) es la pendiente,  $d$  la distancia entre transmisor y receptor en metros, y  $\chi_{\sigma CI}$  una variable aleatoria gaussiana de media cero y desviación estándar  $\sigma_{CI}$  en dB.

La diferencia entre los dos modelos de ajuste es que el FI tiene 2 parámetros libre ( $\alpha$  y  $\beta$ ), mientras que el CI sólo tiene uno, el *PLE*. Además, en el modelo CI, el parámetro *PLE* tiene un significado físico al representar el exponente de propagación, mientras que  $\beta$  no representa el exponente de propagación [7].

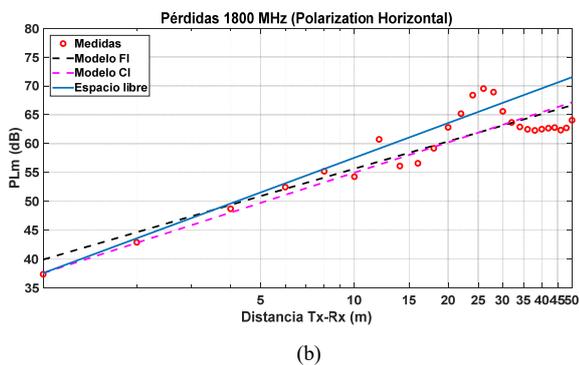
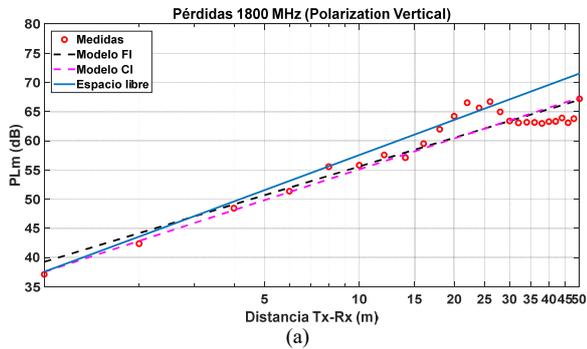


Figura 4. Pérdidas en función de la distancia en la banda de 1800MHz para polarización vertical (a) y horizontal (b).

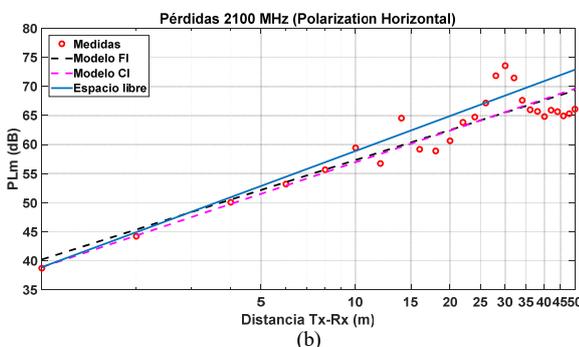
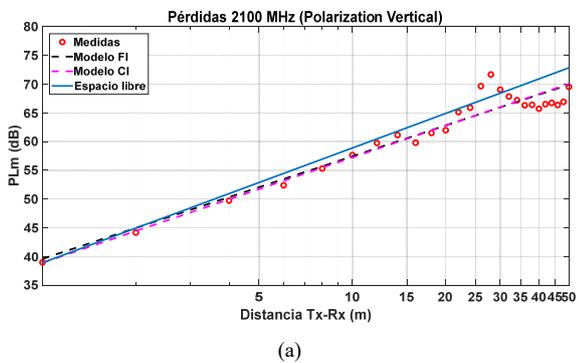


Figura 5. Pérdidas en función de la distancia en la banda de 2100MHz para polarización vertical (a) y horizontal (b).

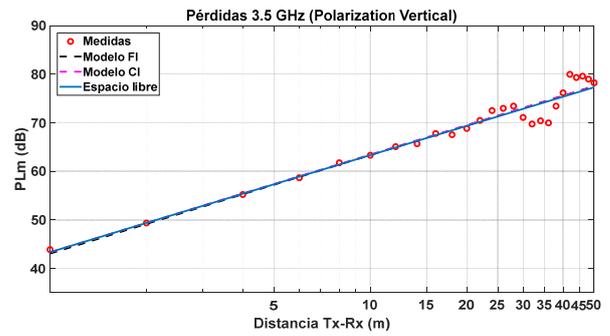


Figura 6. Pérdidas en función de la distancia en la banda de 3.5GHz para polarización vertical.

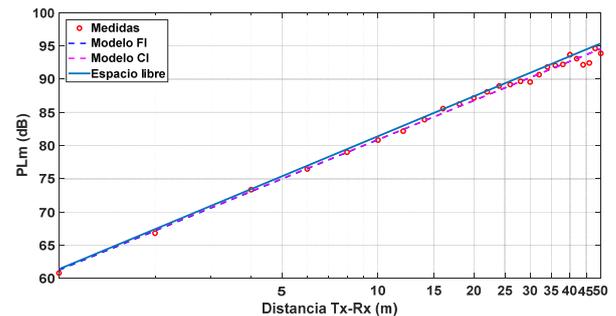


Figura 7. Pérdidas en función de la distancia en la banda de 28GHz para polarización vertical.

#### IV. RESULTADOS

En las Figs. 4-7 se representan las pérdidas medidas en función de la distancia entre el transmisor y el receptor calculadas con (1), las pérdidas obtenidas a partir de los modelos FI con (2) y CI con (3) y las pérdidas en espacio libre. En las pérdidas medidas se observa la misma tendencia en todas las medidas, a partir de cierta distancia se producen oscilaciones debido a las diferentes contribuciones que llegan al receptor, siendo menos apreciables en la banda de 28 GHz. Además, la distancia a la que se aprecia esa oscilación es mayor a medida que aumenta la frecuencia, 9m, 10m, 20m y 40m, en las bandas de frecuencia de 1800MHz, 2100MHz, 3.5GHz y 28GHz, respectivamente.

En cuanto a los modelos FI y CI, en las Figs. 4-7, se observa que la diferencia entre ambos modelos es menor a medida que aumenta la frecuencia, por lo que el parámetro  $\beta$  del modelo FI representa también el exponente de propagación (*PLE*) a partir de 3.5GHz. Este hecho, se puede ver también en la Tabla III, que recoge los parámetros de los modelos de ajuste FI y CI, los valores de  $\beta$  (modelo FI) son 2.03 y 1.96, y el *PLE* (modelo CI) de 2.01 y 1.95, en las bandas de frecuencia de 3.5GHz y 28GHz, respectivamente. En esta Tabla III, vemos que se produce un efecto de guiado (*PLE* menor que 2) en las bandas de frecuencia de 1800MHz y 2100MHz que no se da en las bandas de 3.5GHz y 28GHz (*PLE* prácticamente 2). El *PLE* es 1.76 en la banda de 1800MHz y 1.84 en la banda de 2100MHz, mientras que es 2.01 en la banda de 3.5GHz y 1.95 en la banda de 28GHz. Por tanto, en la banda de milimétricas, no ocurre el efecto de guiado, a diferencia de lo observado en situaciones LoS en entorno de interiores [8] [9].

En cuanto al tipo de polarización, en las Figs. 4 y 5, se observa que las oscilaciones son mayores para polarización

horizontal que para polarización vertical. En las Tablas III y IV podemos observar como la desviación típica es mayor para polarización horizontal que para vertical. En concreto, en la banda de 1800MHz, las desviaciones típicas son 3.25dB para polarización horizontal y 2.33dB para polarización vertical, y en la banda de 2100MHz, 3.17dB y 2.15dB, respectivamente.

TABLA III  
PARÁMETROS DE LOS MODELOS FI Y CI PARA  
POLARIZACIÓN VERTICAL

	Modelo FI (alpha-beta)			Modelo CI ( $d_o = 1$ m)		
	$\alpha$ (dB)	$\beta$	$\sigma_{FI}$ (dB)	$L_o(d_o)$ (dB)	$P_{LE}$	$\sigma_{CI}$ (dB)
1800 MHz	39.2	1.63	2.33	37.5	1.76	2.39
2100 MHz	39.6	1.79	2.15	38.9	1.84	2.16
3.5 GHz	43.0	2.03	1.97	43.3	2.01	1.97
28 GHz	61.2	1.96	0.56	61.4	1.95	0.57

TABLA IV  
PARÁMETROS DE LOS MODELOS FI Y CI PARA  
POLARIZACIÓN HORIZONTAL

	Modelo FI (alpha-beta)			Modelo CI ( $d_o = 1$ m)		
	$\alpha$ (dB)	$\beta$	$\sigma_{FI}$ (dB)	$L_o(d_o)$ (dB)	$P_{LE}$	$\sigma_{CI}$ (dB)
1800 MHz	39.9	1.58	3.25	37.5	1.74	3.33
2100 MHz	40.2	1.71	3.17	38.9	1.81	3.20

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha analizado las pérdidas de propagación medidas en una situación de LOS en una plantación de cítricos en las bandas de frecuencia de 1800MHz, 2100MHz, 3.5GHz y 28GHz. Se ha observado que a partir de 3.5GHz el parámetro  $\beta$  del modelo FI representa también el exponente de propagación ( $P_{LE}$ ). Además, se da un efecto de guiado ( $P_{LE}$  menor que 2) en las bandas de 1800MHz y 2100MHz, que no se observa en las bandas de 3.5GHz y 28GHz, en las que el  $P_{LE}$  es prácticamente igual a 2 (espacio libre). Por último, el análisis del tipo de polarización revela que la desviación típica de los valores medidos respecto a los valores obtenidos con los modelos de ajuste es mayor para polarización horizontal que

para vertical en las bandas de frecuencia de 1800MHz y 2100MHz.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa FRUCA su interés en el proyecto y permitimos llevar a cabo la campaña de medidas en una de sus plantaciones.

Este trabajo ha sido financiado por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia a través del proyecto 20804/PI/18 de la convocatoria de Ayudas a proyectos para el desarrollo de investigación científica y técnica por grupos competitivos, incluida en el Programa Regional de Fomento de la Investigación (Plan de Actuación 2019) de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia y por el Ministerio de Economía y Competitividad MINECO (PID2019-107885GB-C33).

## REFERENCIAS

- [1] "Digital Farming: What does it really mean?" CEMA, Disponible en: <http://www.cema-agri.org/page/digital-farming-what-does-it-really-mean>.
- [2] Directory of wireless system planning tools. 2018. UBC Radio Science Lab, datasheet available at: <http://rsl.ece.ubc.ca/planning.html#MentumPlanet>
- [3] C. Phillips, D. Sicker, and D. Grunwald, A Survey of Wireless Path Loss Prediction and Coverage Mapping Methods, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, n° 1, pp. 225-270, 2013.
- [4] Knoema.com, Citrus fruit area harvested. Disponible en: <https://knoema.com/atlas/topics/Agriculture/Crops-Production-Area-Harvested/Citrus-fruit-area-harvested>.
- [5] Knoema.com, Citrus fruit production quantity. Disponible en: <https://knoema.com/atlas/topics/Agriculture/Crops-Production-Quantity-tonnes/Citrus-fruit-production>.
- [6] Final Acts WRC-19, World Radiocommunications Conference, International Telecommunications Union, Sharm El-Sheikh, Egypt, 2019.
- [7] T. S. Rappaport, G. R. MacCartney, M. K. Samimi, and S. Sun, Wideband Millimeter-Wave Propagation Measurements and Channel Models for Future Wireless Communication System Design, *IEEE Trans. On Communications*, vol. 63, no. 9, pp. 3029-3055, sep. 2015.
- [8] S. Hernández Sáenz, D. Pimienta del Valle, L. Mendo Tomás, P. García del Pino, J. M. Riera Salís, Medición de las pérdidas de propagación en interiores en las bandas milimétricas para 5G de 26 y 39 GHz, *XXXIV Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio*, Sevilla, 2019.
- [9] L. Rubio, V.M. Rodrigo Peñarrocha, J-M Molina-García-Pardo, L. Juan-Llácer, J. Pascual-García, J. Reig, C. Sanchis-Borras, Millimeter Wave Channel Measurements in an Intra-Wagon Environment, *IEEE Trans. On Veh. Technology*, vol. 68 (12), Dec. 2019.