

ARTÍCULO ORIGINAL

# Propuesta de servicio 5G para la agricultura inteligente en Cuba

*Proposal of a 5G Service for Smart Farming in Cuba*

*Gabriela Gloria Segui Padrón*

*gabrielagsp95@gmail.com*

*Jesús Franciel Artiles Brito*

*fartilesb@gmail.com*

EMPRESA DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES DE CUBA, S.A.

Recibido: 2021-08-30 • Aceptado: 2021-11-08

## RESUMEN

Con el avance de las tecnologías y el desarrollo de las comunicaciones móviles se hace necesario la implementación de la red móvil de Quinta Generación (5G) y todos los retos que esta conlleva. El Internet de las cosas (IoT) permite a los operadores brindar todo tipo de servicios distintos además de las comunicaciones de voz y video. La agricultura inteligente es uno de los sectores que se beneficia con el IoT donde los satélites juegan un papel importante en este tipo de comunicación. En este trabajo se realiza la propuesta de un servicio de agricultura inteligente que favorezca el desarrollo de las plantaciones tabacaleras en Cuba, empleando enlaces a través de satélites de alta eficiencia de transferencia. Se realizan, además, cálculos que comprueban la factibilidad de estos enlaces. El enlace satelital es realizable en todo el país por lo que puede emplearse en otros cultivos.

**PALABRAS CLAVE:** Agricultura inteligente, satélites de alta eficiencia de transferencia, 5G.

## ABSTRACT

*With the advancement of technologies and the development of mobile communications, it is necessary to implement the 5th generation (5G) mobile network and all the challenges that this entails. The Internet of Things (IoT) allows operators to provide all kinds of different services in addition to voice and video*

*communications. Smart Agriculture is one of the sectors that benefits from IoT where satellites play an important role in this type of communication. In this work, a proposal is made for an Intelligent Agriculture service that favors the development of tobacco plantations in Cuba, using high throughput satellites. In addition, calculations are made to verify the feasibility of these links. The satellite link is feasible through all the country so it can be used in other crops.*

**KEYWORDS:** *Smart agriculture, satellites, 5G.*

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las comunicaciones en las últimas décadas ha marcado un gran avance económico y tecnológico. Con la Quinta generación de telefonía móvil (5G) se pretende, entre otras cosas, potenciar el desarrollo del Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés *Internet over Things*), que hoy es empleada con tecnologías existentes como la Tercera generación de telefonía móvil (3G), la Cuarta generación de telefonía móvil (4G), WiFi, entre otros. La 5G posibilita el aumento de la velocidad de los datos, la baja latencia, comunicaciones ultraconfiables y comunicaciones masivas (Pirinen, 2015). Lo anterior posibilitará la implementación de diversas aplicaciones, una de ellas es la industria de *Big Data*, lo cual impulsará el rápido crecimiento de la agricultura inteligente (Cheng, 2019).

En los últimos años, las comunicaciones satelitales han tenido varios avances que la consolidan como una de las tecnologías imprescindibles en 5G. Entre estos avances están los satélites de alta eficiencia de transferencia (HTS por sus siglas en inglés *High Throughput Satellite*), el estándar de la segunda generación de radio difusión de video digital via satélite-extensión (DVB-S2x por sus siglas en inglés *Digital Video Broadcasting by Satellite Second Generation- extensions*) y el empleo de la banda Ka (30 GHz en subida y 20 GHz en bajada) para realizar enlaces de alta velocidad (Minoli, 2015). Estos avances han propiciado el empleo de los satélites en diversas aplicaciones de vital importancia en IoT y que a la vez complementan servicios ofrecidos en 5G. Una de estas aplicaciones y que tiene una gran relevancia para Cuba es la agricultura inteligente.

El objetivo de este trabajo es la propuesta de una red satelital que sustente un servicio de agricultura inteligente para la producción tabacalera en Cuba, que a la vez sea un paso de avance hacia una futura red 5G en todo el territorio nacional.

## METODOLOGÍA

### AGRICULTURA INTELIGENTE

La agricultura inteligente es un servicio IoT que se basa en la aplicación combinada de soluciones de las tecnología de la información y las comunicaciones (TIC) como procesamiento de

imágenes, aprendizaje automático, sistemas de posicionamiento geográfico, *Big Data*, vehículos aéreos no tripulados, redes de sensores inalámbricos, entre otros (Moysiadis, Sarigiannidis, Vitsas, & Khelifi, 2021).

Las aplicaciones de agricultura inteligente pueden proporcionar grandes beneficios en términos de problemas ambientales, haciendo un uso más eficiente del agua y optimizando los tratamientos a las tierras e insumos (Bernardo, 2021).

A continuación se citan algunas tecnologías de agricultura inteligente disponibles en el mercado (Sciforce, 2019):

- Tecnologías de detección, incluyendo escaneo de suelos, agua, luz, humedad, manejo de temperatura;
- Aplicaciones de *software*: soluciones de *software* especializadas que se dirigen a tipos de granja específicos;
- Tecnologías de la comunicación, como la comunicación celular;
- Tecnologías de posicionamiento, incluido el GPS;
- Sistemas de *hardware* y *software* que permiten soluciones basadas en IoT, robótica y automatización; y
- Análisis de datos, que subyace en los procesos de toma de decisiones y predicción.

La agricultura de precisión es una idea general para los enfoques basados en IoT que hacen que la agricultura sea más controlada y precisa. En el proceso de optimización de cultivo, los dispositivos de IoT instalados en una granja deben recopilar y procesar datos en un ciclo repetido que permita a los agricultores reaccionar rápidamente ante los problemas emergentes y los cambios en las condiciones ambientales (Sciforce, 2019).

La agricultura inteligente tiene un potencial real para ofrecer una producción agrícola más productiva y sostenible, basada en un enfoque más preciso y eficiente en el uso de los recursos. Las ventajas que añade la agricultura inteligente a la industria alimentaria y tabacalera en Cuba son de vital importancia para el desarrollo sostenible. Dentro de las opciones para poder realizar avances en la agricultura inteligente en Cuba está la tecnología satelital. Los satélites geoestacionarios (GEO por sus siglas en inglés *Geostationary Earth Orbit*) harían la función de repetidor entre los sensores instalados en los suelos y el agricultor. La implementación de un enlace satelital entre las plantaciones donde estén desplegados los sensores y demás tecnologías IoT permitiría al productor agrícola conocer en tiempo real los parámetros de los suelos, el estado meteorológico, el estado de salud de sus animales e incluso sus herramientas de trabajo, dígame por ejemplo las maquinarias empleadas en la producción de granos, los arados de la tierra, entre otros (Segui, G.G., 2019).

## **ESTRUCTURA DE LA RED DE MEDICIÓN PROPUESTA**

La estructura de la red de medición y de comunicación propuesta está basada en un grupo de sensores que miden las condiciones meteorológicas y los parámetros de la tierra que necesita conocer el agricultor para poder obtener óptimos resultados. El otro elemento es una estación terrena a instalar en las plantaciones que a través de un hostpot o punto de acceso

wifi, recibe la señal WiFi enviada desde los sensores. Luego esta estación envía la señal a un satélite GEO, el cual se recomienda que sea HTS debido a la posibilidad de transmitir con más potencia, lo cual permite el empleo de antenas más pequeñas y por lo tanto más baratas. Finalmente el usuario final es un agricultor o un productor que mediante una estación terrestre receptora recibe la señal proveniente del satélite. La misma puede ser una antena satelital ubicada en la empresa o en el domicilio del agricultor o su propio teléfono móvil, dado que la 5G propone el uso de la banda *Ka* en teléfonos de comunicaciones (CORDIS, 2021). La figura 1 muestra el esquema propuesto, el cual está compuesto por los elementos mencionados. Los *backhaul* satelitales permiten, utilizando infraestructura existente, enviar la información a grandes ciudades donde estén ubicadas las empresas principales del sector.

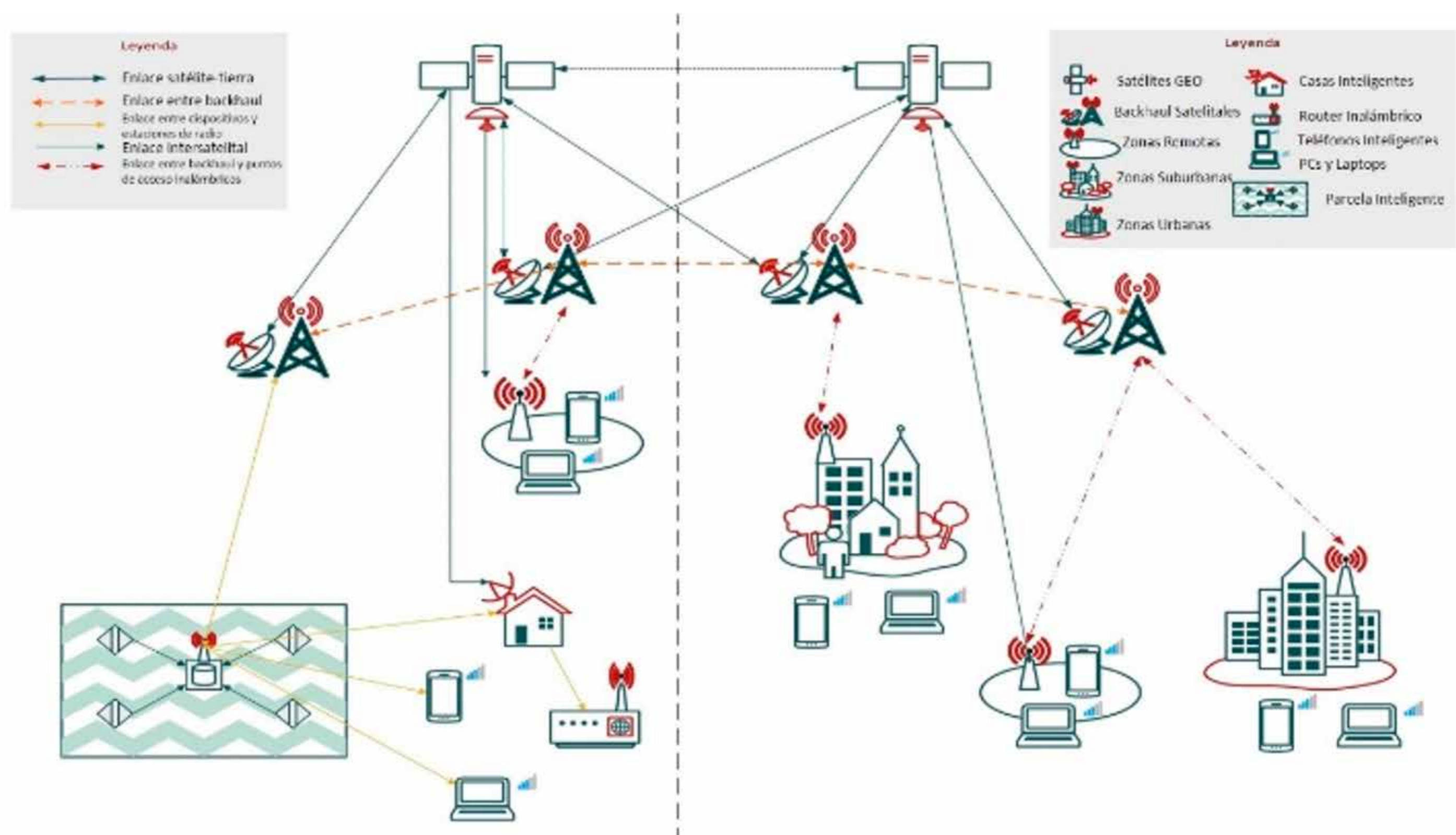


Figura 1: Estructura de la red satelital 5G propuesta.

## RED DE MEDICIÓN

Los sensores inalámbricos son los elementos encargados de realizar las mediciones de los suelos y del clima, además de conformar la primera etapa de la red de comunicación hasta el cliente. Estos sistemas de monitoreo inteligente de campo ayudan a los productores a reducir el uso de agua, ahorrar costos de producción, mejorar la calidad de los cultivos y protegerlos contra peligros climáticos. Los sensores inalámbricos utilizan una tecnología de malla inalámbrica y operan en diferentes frecuencias en dependencia del fabricante. Estas pueden variar entre 433MHz, 868 MHz, 915 MHz y 2,4 GHz (Islam, 2020).

Estos sistemas están conformados por una estación de registro de datos remota que proporciona acceso instantáneo a datos ambientales específicos del sitio desde cualquier lugar y en cualquier momento a través de Internet por diferentes vías (WiFi, Ethernet, 3G o 4G); además presentan un módulo de gestión inalámbrica donde se recopilan todos los datos de los

sensores que serán procesados para su posterior entrega al usuario, una plataforma de *software* habilitada para la web diseñada para el sistema de monitoreo de campo; y una serie de sensores que cumplen varias funciones, como son las mediciones de humedad del suelo, la temperatura y humedad relativa, los niveles de lluvia, de radiación solar, la velocidad y dirección del viento, la humedad de la hoja, la presión barométrica, el nivel de agua y el cálculo de evapotranspiración (Eiccontrol, s.f.). La figura 2 muestra un sistema de monitoreo de campo expandido en una plantación donde la comunicación de los sensores es a través de WiFi y el agricultor puede consultar el estado de los cultivos vía web dentro de la plantación con su propio teléfono.



Figura 2: Sistema de monitoreo de campo (Eiccontrol, s.f.)

### ENLACE SATELITAL

El enlace satelital está conformado por dos estaciones terrenas y un satélite actuando como repetidor en el espacio (Echenique, 2011). Las estaciones terrenas transmisoras se ubican en las zonas de cultivo o zonas relativamente cercanas a estas. El satélite, por su parte, es el elemento principal del enlace por lo que su elección es de vital importancia para lograr un enlace eficiente y un costo de proyecto lo más económico posible. Para la propuesta de servicio de este trabajo, se va a emplear el satélite *Intelsat 37e* de la serie *Epic* de *Intelsat*. Esta elección se realiza debido a las facilidades y detalles acerca de la configuración operacional y características que ofrece *Intelsat* (Intelsat, s.f.) acerca de su flota satelital, lo cual favorece el trabajo con el cálculo del enlace satelital.

### Intelsat 37e

El *Intelsat 37e* es un satélite HTS que ofrece servicios globales de alto rendimiento que brinda servicios en las bandas *C*, *Ku* y *Ka*. Se encuentra ubicado en la órbita geoestacionaria a los

18° de longitud oeste (18W). El *Intelsat 37e* presta una amplia gama de servicios de telecomunicaciones flexibles a escala global entre los que se encuentran la transmisión de señales de voz, datos y vídeo, el acceso a los servicios de internet de banda ancha, telefonía IP, televisión directa al hogar, difusión de señales de TV y radio, entre otros (Intelsat, s.f.).

### Zonas tabacaleras en Cuba

A lo largo del archipiélago cubano existen varias zonas donde se cultiva tabaco, cuyas hojas son destinadas a la producción de Habanos, el cual tiene un aporte muy favorable a la economía de Cuba. En la parte occidental se destaca la producción en San Juan y Martínez y San Antonio de los Baños, siendo consideradas dos de las zonas más importantes de cultivo. Otras de las zonas de importancia que se toman de referencia para realizar el cálculo de enlace satelital son cultivos pertenecientes a Santa Clara, Las Tunas y Bayamo. La tabla 1 muestra la ubicación geográfica de las regiones mencionadas (latitud y longitud) que se emplean para calcular el enfoque de la estación terrena transmisora al satélite (Segui, G.G., 2019).

Tabla 1: Ubicación geográfica de las zonas tabacaleras.

Zona de Cultivo	Latitud (°Norte)	Longitud (°Oeste)
San Juan y Martínez	22.2752424	83.8714048
San Antonio de los Baños	22.8914955	82.5114871
Santa Clara	22.4364972	80.1035975
Las Tunas	20.9681372	77.0974109
Bayamo	20.3727246	76.7091434
Valle San Juan	21.957603	84.409776

### CÁLCULO DEL ENLACE SATELITAL

El enlace ascendente lo conformarán las cinco zonas de cultivo mencionadas anteriormente. El enlace descendente se realiza tomando como referencia de estación receptora un móvil satelital ubicado en el punto más desfavorable del país, con respecto a la ubicación del satélite seleccionado que es el Valle San Juan. La figura 3 muestra el mapa de Cuba con los 5 enlaces ascendentes y el enlace descendente a calcular.

Para realizar los cálculos del enlace satelital se tienen en cuenta ciertas consideraciones debido a que los datos del satélite son reservados por parte de las operadoras satelitales y son desconocidas para el usuario.

Como dato para el cálculo del enlace, se escoge un teléfono con una antena de microcinta para banda  $Ka$  con ganancia de 40 dBi. Además se tiene en cuenta que un teléfono móvil no suelen soportar temperaturas mayores a los 45°C (Huawei, s.f.), por ello la temperatura del sistema de antena móvil se asume de 35°C, lo que equivale a 308.5K.

Por otra parte, los valores de transmisión de los sensores ascienden hasta 250 kbps (Eiccontrol, s.f.), lo que posibilita que la razón de símbolo no sea muy elevada para este tipo de aplicación y a su vez permite poder alquilar bajos anchos de banda en el transpondedor. En este caso específico se considera una razón de símbolo de 0.5 Msymb/s, con una MODCOD 16APSK 1/2-L, para un ancho

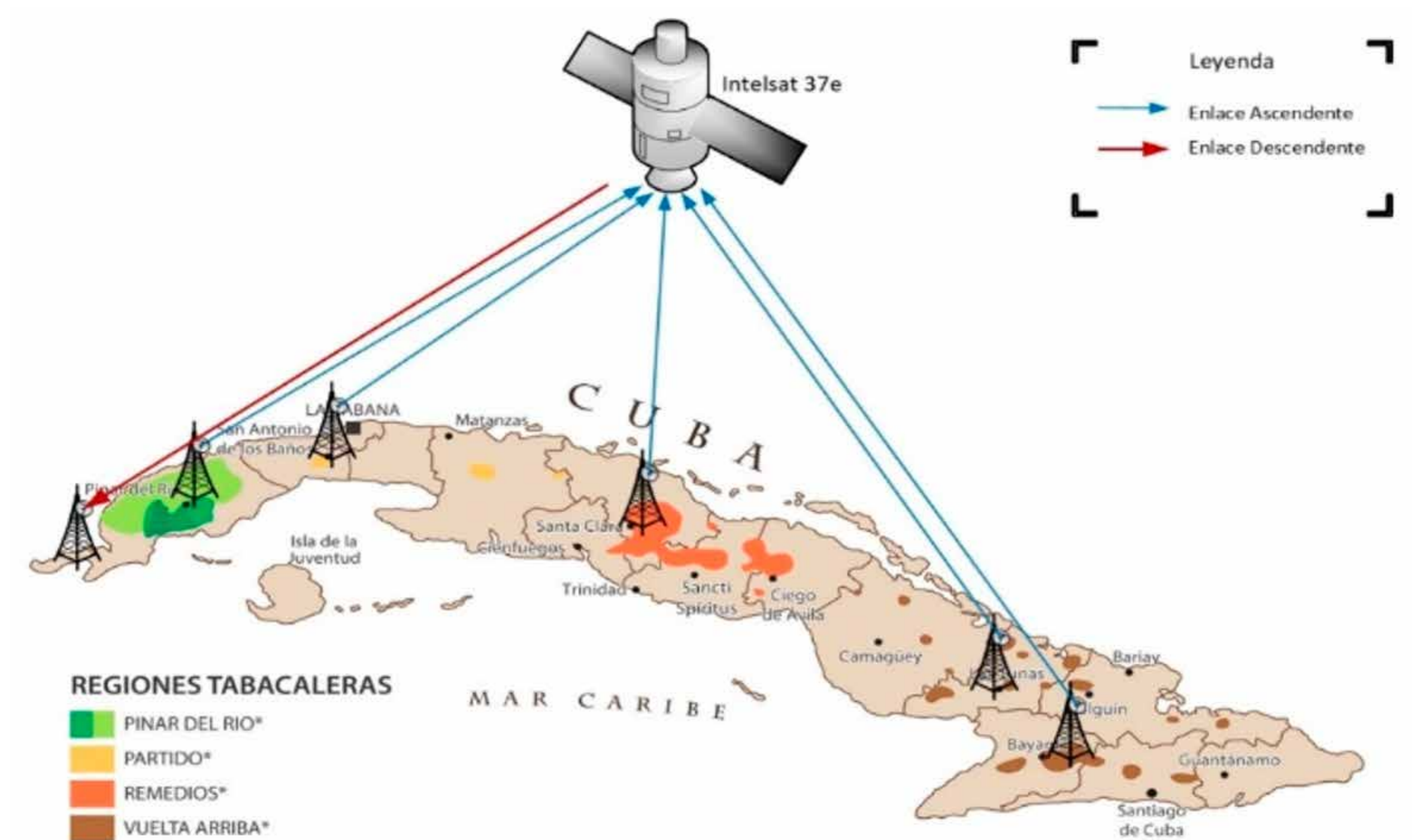


Figura 3: Enlaces Satelitales a las zonas tabacaleras cubanas.

de banda de 12 MHz, usando el estándar DVB-S2x por las ventajas que este posee (Minoli, 2015). La tabla 2 muestra parámetros del satélite necesarios para realizar el cálculo del enlace donde OBO (por sus siglas en inglés *Output Back Out*) e IBO (por sus siglas en inglés *Input Back Out*) son los backup o reducción de potencia del transpondedor en entrada y salida respectivamente. La tabla 2 muestra los parámetros de la configuración operacional del satélite para el servicio propuesto.

Tabla 2: Parámetros del satélite *Intelsat 37e* (Intelsat37e, s.f.).

Parámetro	Valor
PIRE	55.5 dBW
G/T	8.3 dB/K
Transpondedor (Up/Down)	KaL2U/KaR2D
Densidad de Flujo de Saturación Máxima (SFD BP)	-87 dBW/m <sup>2</sup>
Densidad de Flujo de Saturación Borde del haz (SFD BE)	-67 dBW/m <sup>2</sup>
IBO transpondedor	7 dB
OBO transpondedor	5 dB
Interferencia Co-canal (C/I)	30 dB
Intermodulación en el satélite (Sat Im)	-25 dBW/4kHz
Límite Intermodulación a 10° de elevación	9 dBW/4kHz
Margen enlace ascendente	5 dB
Margen enlace descendente	5 dB
Atenuación del trayecto 30 GHz	1 dB

### ECUACIONES QUE INTERVIENEN EN EL ENLACE

Los objetivos fundamentales de un enlace satelital son garantizar una probabilidad de *bit* erróneo (BER por sus siglas en inglés *Bit Error Rate*) para condiciones normales de operación

y mantener la disponibilidad del enlace, lo que equivale a garantizar una calidad de servicio determinada la cual está caracterizada por la relación entre la potencia de la portadora ( $C$  por su sigla en inglés *Carrier*) y el ruido a la entrada del receptor ( $N$  por su sigla en inglés *Noise*) (Diaz, 2009)

La ecuación general del enlace está dada por la relación portadora/ruido (Diaz, 2009),

$$\frac{C}{N} = PIRE - L + G_{Rx} - 10 \log KTB \quad (\text{dB}) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- PIRE: potencia relativa equivalente referida a una fuente isotrópica de la antena transmisora (dBi).
- $C$ : potencia de la portadora.
- $N$ : potencia de ruido.
- $L$ : pérdidas de transmisión (dB).
- $G_{Rx}$ : ganancia de la antena receptora.
- $K$ : constante de Boltzmann's ( $1.314 \times 10^{-23} \text{ W/}^\circ\text{K/Hz}$ ).
- $T$ : temperatura de ruido ( $^\circ\text{K}$ ).
- $B$ : Ancho de banda (Hz).

El término ( $C/N_0$ ) es conocido como la relación portadora / densidad de ruido y expresa la relación entre la potencia de la portadora y 1Hz de ancho de banda. Las siguientes expresiones calcular directamente la relación energía por bit/densidad de ruido, mediante las siguientes relaciones:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log R_D \quad \text{Ec.2}$$

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{N} + 10 \log B \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

- $R_D$ : velocidad digital (bit/s).
- $E_b$ : energía por bit (referida a la velocidad digital) (dBW/Hz).
- $N_0$ : densidad de ruido espectral (dBW/Hz).
- $C$ : potencia de la portadora (dBW).

La relación portadora/ruido térmico ( $C/T$ ) se considera la adecuada para realizar los cálculos debido a que independiza las portadoras digitales del ancho de banda ocupado en el transpondedor (Echenique, 2011):

Donde  $k$  es la constante de Boltzmann.

$$\frac{C}{T_{\text{diseño}}} = \frac{C}{N_0} + 10 \log k \quad \text{Ec.4}$$

Para conocer si el enlace es factible es necesario que  $C/T_{\text{diseño}} < C/T_{\text{total}}$ , donde  $C/T_{\text{total}}$  es el valor real de la relación portadora / ruido en el satélite y está dado por (Echenique, 2011):



$$\frac{C}{T} = PIRE + \frac{G_{Rx}}{T_S} - L \quad (\text{dB/K}) \quad \text{Ec.5}$$

Donde  $L$  son las pérdidas y  $G_{Rx}/T_S$  es la relación Ganancia/Temperatura de ruido del sistema del enlace descendente, dígase en este caso de la estación terrena receptora.

La  $C/T_{\text{total}}$  está condicionada por diversos parámetros que en su conjunto determinan el valor de  $C/T_{\text{Total}}$ , la cual se calcula mediante la ecuación 6, donde:  $C/T_{\text{up}}$  es la relación portadora / ruido térmico para el enlace ascendente,  $C/T_{\text{down}}$  es la relación portadora / ruido térmico para el enlace descendente,  $C/T_{\text{HPAIM}}$  es la relación portadora / ruido térmico causado por los productos de intermodulación en el HPA,  $C/T_{\text{IMSAT}}$  es la relación portadora / ruido térmico causado por los productos de intermodulación en el satélite y  $C/T_{\text{CCI}}$  es la relación portadora / ruido térmico causado por la interferencia cocanal.

$$\frac{1}{\frac{C}{T_{\text{Total}}}} = \frac{1}{\frac{C}{T_{\text{up}}}} + \frac{1}{\frac{C}{T_{\text{down}}}} + \frac{1}{\frac{C}{T_{\text{HPAIM}}}} + \frac{1}{\frac{C}{T_{\text{IMSAT}}}} + \frac{1}{\frac{C}{T_{\text{CCI}}}} \quad \text{Ec.6}$$

Para poder hallar la ecuación 6 es necesario calcular por separado cada uno de estos parámetros:

$$\frac{C}{T_{\text{up}}} = PIRE_{\text{up}} + \frac{G_{RX}}{T_{\text{Sat}}} - L_{\text{up}} + \beta_{\text{up}} + m_{\text{up}} \quad \text{Ec.7}$$

$$\frac{C}{T_{\text{up}}} = PIRE_{\text{up}} + \frac{G_{RX}}{T_{\text{Sat}}} - L_{\text{up}} + \beta_{\text{up}} + m_{\text{up}} \quad \text{Ec.8}$$

$$\frac{C}{T_{\text{down}}} = PIRE_{\text{down}} + \frac{G}{T_{E/T}} - L_{\text{down}} + \beta_{\text{down}} - m_{\text{down}} \quad \text{Ec.9}$$

$$\frac{C}{T_{\text{HPAIM}}} = PIRE_{E/T} - A + X - 192.6 \quad \text{Ec.10}$$

$$X = 0.02(\alpha_{\text{up}} - 10) + \beta_{\text{up}} + \gamma(0.02(\alpha_{\text{down}} - 10) + \beta_{\text{down}}) \quad \text{Ec.11}$$

$$\frac{C}{T_{\text{SATim}}} = PIRE_{\text{down}} + SAT_{\text{IM}} + 192.6 \quad \text{Ec.12}$$

$$\frac{C}{T_{\text{CCI}}} = \frac{C}{I} + 10 \log BW_{\text{ocupado}} - 228.6 \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

- $C/T_{\text{up}}$ : relación portadora / ruido térmico para el enlace ascendente.
- $\beta$ : factor de corrección para el ángulo de elevación y la localización de la ET para enlace ascendente y descendente.
- $m$ : margen para lluvia y error de enfoque.
- $C/T_{\text{down}}$ : relación portadora / ruido térmico para el enlace descendente
- $A$ : límite de los productos de Intermodulación para un ángulo de elevación de 10 grados. (tabla 3)
- $X$ : factor de corrección para el ángulo de elevación y la localización de la ET.
- $SAT_{\text{IM}}$ : PIRE del límite de Intermodulación especificado en 4 KHz.
- $C/I$ : relación portadora/ interferencia.

- $BW_{\text{ocupado}}$ : Ancho de banda ocupado por la portadora, referido a la portadora con la cual se está efectuando el cálculo (Hz).

Otro parámetro a considerar durante el cálculo es el PIRE de operación del satélite, el cual tiene que ser estrictamente inferior al PIRE de saturación del mismo para evitar la aparición de productos de intermodulación en el HPA del satélite lo cual traería consigo además un aumento considerable de la interferencia cocanal en el transpondedor.

$$PIRE_{\text{operacion}} = C/T_{\text{down}} - \frac{G}{T^E} + L_{\text{down}} - B_{\text{down}} + m_{\text{down}} \quad (\text{dBW}) \quad \text{Ec.14}$$

$$OBO = PIRE_{\text{saturacion}(BE)} - PIRE_{\text{operacion}} \quad (\text{dB}) \quad \text{Ec.15}$$

Por la misma razón anterior, para evitar la aparición de productos de intermodulación en el HPA del satélite, se calcula la reducción de potencia a la salida (OBO, por sus siglas en inglés *Output Back Out*) y la reducción de potencia a la entrada (IBO, por sus siglas en inglés *Input Back Out*). Los valores obtenidos de estos parámetros tiene que ser superiores a los establecidos por el operador (Echenique, 2011).

$$IBO = OBO + X \quad (\text{dB}) \quad \text{Ec.16}$$

Donde  $X$  es el factor de compresión del satélite y se calcula restando los valores de  $OBO = 5$  dB e  $IBO = 7$  dB en saturación definidos por el operador satelital, por lo que para el satélite en cuestión  $X = 2$ .

Posteriormente es necesario calcular el  $PIRE_{\text{ET}}$  necesario para suplir dicho enlace (Echenique, 2011).

$$PIRE_{E/T} = W + L_{\text{oup}} - G_{1m^2} - \beta_{\text{up}} + m_{\text{up}} \quad (\text{dB}) \quad \text{Ec.17}$$

Donde  $G_{1m^2}$  es la ganancia de una antena plana ideal de 1 metro de diámetro en dependencia de la frecuencia y está dada por (Echenique, 2011):

$$G_{1m^2} = 20 \log f_{\text{up}} + 20.4 \quad (\text{dBi}) \quad \text{Ec.18}$$

$W$  es la iluminación del satélite por unidad de área,

$$W = SDF_{\text{saturacion}(BE)} - IBO \quad (\text{dBW/m}^2) \quad \text{Ec.19}$$

y  $m_{\text{up}}$  es el margen de pérdidas para el que está concebido el enlace ascendente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Llevando a cabo el procedimiento anteriormente, se obtienen los siguientes resultados. El enlace es factible para antenas de 3,7 metros de diámetro en las zonas de cultivo (representado

como HUB), empleando amplificadores de potencia (HPA) de 500 W trabajando con un OBO de HPA de aproximadamente 1 dB, lo que garantiza el enlace satelital con 5 dB de margen ascendente y 5 dB en el descendente.

La tabla 3 muestra detalladamente los resultados del cálculo en cuestión, donde  $C/T$  son las relaciones de portadora temperatura de ruido del enlace ascendente ( $C/T_{up}$ ), del enlace descendente ( $C/T_{down}$ ), de los productos de intermodulación del HPA ( $C/T_{HPA IM}$ ), de intermodulación en el satélite ( $C/T_{SAT IM}$ ), de interferencia cocanal ( $C/T_{CO}$ ) y total ( $C/T_{Total}$ ). Además UPC (por sus siglas en inglés *Uplink Power Control*) se refiere a un controlador de potencia empleado para optimizar la potencia de transmisión de la estación terrena transmisora:

Tabla 3: Resultados del cálculo del enlaces satelital propuesto.

Parámetro	San Antonio de los Baños	San Juan y Martínez	Santa Clara	La Tunas	Bayamo	Unidad de medida
$C/T_{Diseño}$	-165.37					dB/oK
IR	1.00					(Mbit/s)
$PIRE_{Asignado}$	34.86					dBW
IBO	23.0					dB
OBO	21.0					dB
$PIRE_{Operación (BE)}$	34.52					dBW
$PIRE_{Operación}$	34.52					dBW
$C/T_d$	-165.33					dB/oK
$C/T_{up}$	-131.21					dB/oK
$C/T_{HPA IM}$	-122.30	-122.29	-122.30	-122.31	-122.31	dB/oK
$C/T_{Sat IM}$	-133.08					dB/oK
$C/T_{CO}$	-141.40					dB/oK
$C/T_{total}$	-165.36					dB/oK
$C/No_{total}$	63.24					dB-Hz
$C/N$	6.25					dB
$E_b/No$	3.24					dB
Reserva de Potencia $PIRE_{Down}$	0.34					dB
Potencia HPA	21.1338	21.1600	21.0812	21.0115	21.0006	dBW
	129.8305	130.6178	128.2690	126.2264	125.9089	Watts
UPC	5					dB
Potencia HPA (Con UPC)	25.1338	25.1600	25.0812	25.0115	25.0006	dBW
	326.1195	328.0970	322.1971	317.0665	316.2689	Watts
OBO HPA	0.86	0.83	0.91	0.98	0.99	dB

## CONCLUSIONES

Los cálculos realizados muestran que el satélite *Intelsat 37e*, o uno con características de potencia similares, es capaz de brindar una buena cobertura en banda *Ka* para ofrecer el servi-

cio agricultura inteligente en todo el territorio nacional con la velocidad requerida, dando una velocidad de información (IR) de 1 Mbps dentro de un ancho de banda de 12 MHz para este tipo de servicio exclusivamente.

Un servicio 5G para la agricultura anteligente a través del enlace satelital propuesto permitiría a la agricultura del país una mayor calidad en la producción tabacalera así como un ahorro de recursos no renovables. Además, se podría utilizar este trabajo como referencia en cualquier otra área de servicios que se desee desarrollar a través de dicho enlace.

## REFERENCIAS

- Cheng, H. M. (2019). Research on key technologies of intelligent agriculture under 5G environment. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1345, No. 4, p. 042057). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1345/4/042057/meta>
- CORDIS. (2021). *Kaband GaN-based SSPA for flexible payloads and multicarrier operation for 5G satellite concept*. Obtenido de <https://cordis.europa.eu/project/id/821830>
- Díaz, E. (2009). *Cálculo de Enlace Satelital* (Trabajo de diploma). Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de la Habana.
- Echenique, P. (2011). *Propuesta de Orientación de los servicios de los Telepuertos Satelitales de ETECSA*. (Trabajo de diploma). Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de la Habana.
- Islam, N., Rashid, M. M., Pasandideh, F., Ray, B., Moore, S., & Kadel, R. (2021). A Review of Applications and Communication Technologies for Internet of Things (IoT) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Sustainable Smart Farming. *Sustainability*, 13(4), 1821. <https://doi.org/10.3390/su13041821>
- Minoli, D. (2015). *Innovations in satellite communications and satellite technology: the industry implications of DVB-S2X, high throughput satellites, Ultra HD, M2M, and IP*. John Wiley & Sons.
- Moysiadis, V., Sarigiannidis, P., Vitsas, V., & Khelifi, A. (2021). Smart farming in Europe. *Computer Science Review*, 39, 100345. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100345>
- Pirinen, P. (2014, November). A brief overview of 5G research activities. In *1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity* (pp. 17-22). IEEE. <https://doi.org/10.4108/icst.5gu.2014.258061>
- Segui, G.G. (2019). *Integración de satélites a 5G y su aplicación para el sector tabacalero en Cuba* (Trabajo de diploma). Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana.

## MEDIOS ELECTRÓNICOS

- Bernardo, E. B. (Marzo de 2021). El valor del uso eficiente del agua en la agricultura. *CCAFS*. Obtenido de <https://ccafs.cgiar.org/es/news/el-valor-del-uso-eficiente-del-agua-en-la-agricultura>.

Eiccontrol. (s.f.). *EIControl Group*. Obtenido de <https://eiccontrols.com/en/agricultural-research/69-sistema-hobonet-sensores-inalambricos-hasta-600m-de-alcance.html>

Huawei. (s.f.). *Rango de temperatura normal del teléfono durante el uso*. Obtenido de <https://consumer.huawei.com/es/support/content/es-es00409853/>

Intelsat. (s.f.). <https://www.intelsat.com/>

Sciforce. (junio de 2019). *Smart Farming, or the Future of Agriculture*. Obtenido de <https://medium.com/sciforce/smart-farming-or-the-future-of-agriculture-359f0089df69>

Copyright © 2022 Segui-Padron, G. G., Artiles-Brito, J. F.



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional