

TECNOLOGÍA SATELITAL Y SENSORES REMOTOS EN AGRICULTURA

Cappuccio, Leonardo; Gaspar, Claudio; Genovese, Luis; Platzeck, Gabriel
INVAP S.E.

LCappuccio@invap.com.ar

CGaspar@invap.com.ar

Genovese@invap.com.ar

GPlatzeck@invap.com.ar

INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta información sobre sensado remoto restringida a los usos de interés en agricultura, según las aplicaciones actuales y ofrece un panorama de mediano plazo, en función de las tendencias que se observan en la industria espacial.

SENSORES REMOTOS

Los Sensores remotos son de dos tipos principales: activo y pasivo. Los sensores activos, proporcionan su propia fuente de energía para iluminar los objetos que observan. Un sensor activo emite radiación en la dirección del objeto a medir. El sensor detecta entonces y mide la radiación que se refleja desde el objeto. Los sensores pasivos, por otro lado, detectan la energía natural (radiación) del objeto u escena que se observa. La luz solar reflejada es la fuente más común de radiación medida por los sensores pasivos.

La información medida por un sensor debe ser calibrada para

- Obtener la verdadera reflectancia superficial
- Corregir por
 - interferencias atmosféricas
 - ángulos de visión fuera del nadir
 - errores propios del sensor
- Orto-rectificar usando puntos de control terrestre.

Un objetivo adicional es el de obtener el menor error posible, tanto en posición, como en reflectancia.

Si la información generada por el satélite es insuficiente para realizar las calibraciones mencionadas, los datos tendrán errores que invalidarán su uso.

A través del aprovechamiento estereoscópico se pueden determinar alturas con mucha precisión y fabricar DEMs (Modelos de Elevación Digital), información muy útil para el agro.

Los sensores usados para medir cultivos extensivos, se pueden montar en plataformas de distintas características:

SENSOR REMOTO ESPACIAL

La mayoría de los sensores se instalan en satélites de órbita baja. Permiten:

- cobertura global
- resolución espacial alta
- resolución temporal media-alta
- costos operativos bajos

SENSOR REMOTO AEROTRANSPORTADO

Se instalan en aviones, helicópteros o drones. Permiten:

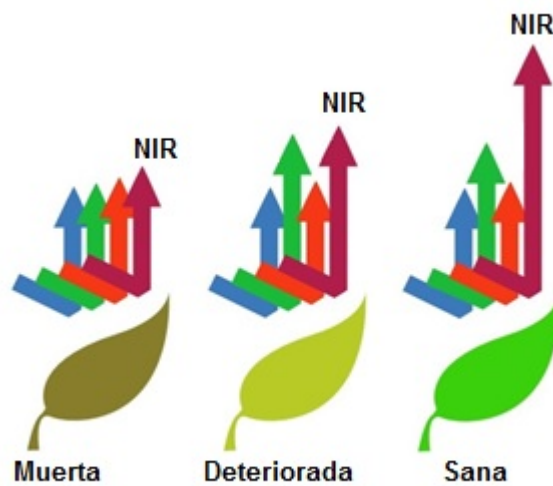
- cobertura local
- resolución espacial muy alta
- sus costos operativos son altos
- se suele realizar campañas específicas de medición

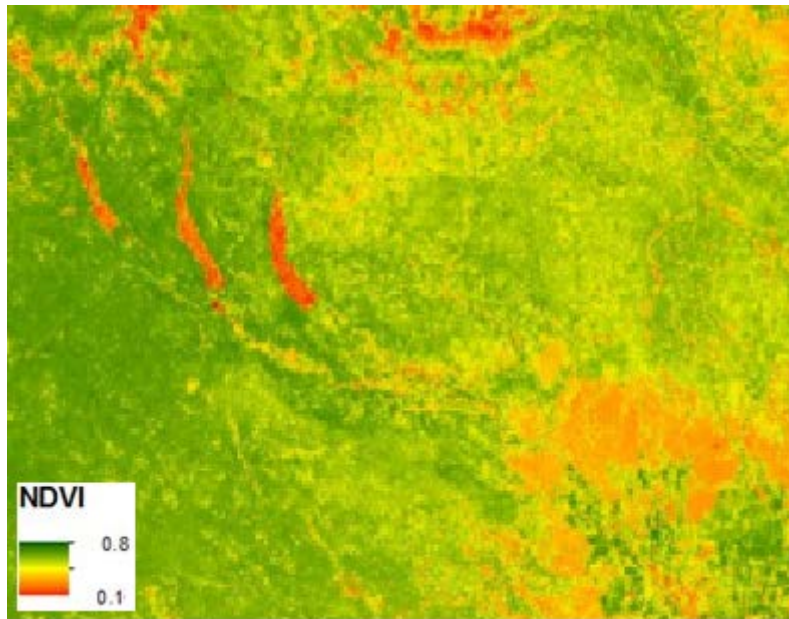
A continuación se presentan algunos sensores de posible uso en Agricultura de Precisión.

SENSOR MULTIESPECTRAL

Un sensor multiespectral detecta típicamente hasta 10 bandas espectrales a lo largo de las porciones visible, infrarroja cercana y del infrarrojo medio del espectro electromagnético. Es un sensor pasivo.

La combinación de distintas bandas permite obtener información específica sobre cultivos, por ejemplo, $NVDI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$.





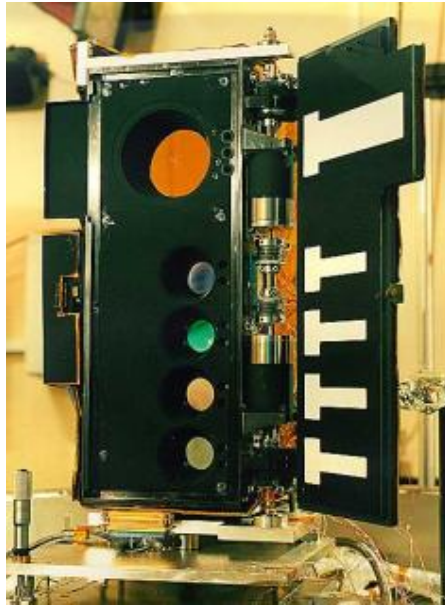
El Satélite SAC-C, puesto en órbita en el año 2000, un proyecto de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), fabricado por INVAP, tuvo por objetivo principal, realizar sensado remoto sobre el territorio argentino a través de instrumentos electro-ópticos.

Formó parte de la Constelación Matutina (AM) conjuntamente con los satélites de NASA Landsat-7, EO-1 y Terra.



Para ello contaba con dos sensores Electro-Ópticos:

- Una cámara de barrido pancromática
- Una cámara multiespectral para las bandas VISIBLES, NIR (near infrared) Y SWIR (short wave infrared)



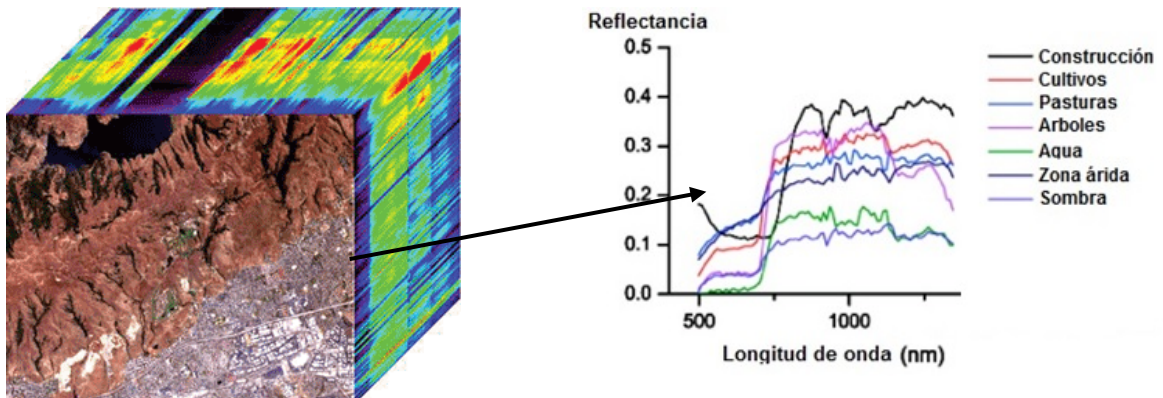
Cámara multispectral MMRS de SAC-C

SENSOR HIPERESPECTRAL

Es un sensor avanzado que detecta cientos de bandas espectrales muy estrechas a lo largo de las porciones visible, infrarroja cercana y del infrarrojo medio del espectro electromagnético. La alta resolución espectral de este sensor permite identificar en algunos casos la composición química del material observado.

Si el material que observa un pixel es homogéneo, el sensor da el espectro de ese material, que podrá ser identificado por comparación con firmas espectrales disponibles en distintas bases de datos.

Es un sensor pasivo.



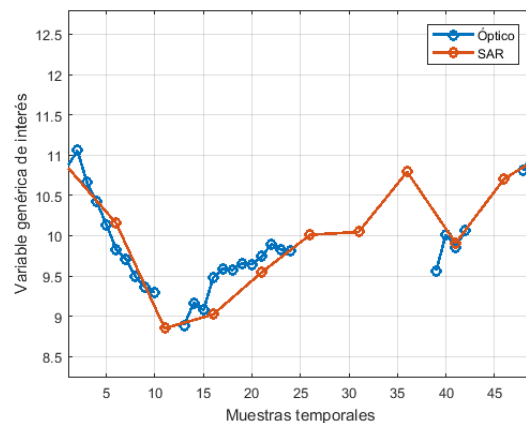
SAR - Radar de Apertura Sintética

Es un sensor activo que emite microondas en una serie de pulsos desde una antena. Cuando la energía alcanza el objetivo, parte de la energía se refleja de nuevo hacia el sensor. Esta radiación de microondas reflejada se detecta, mide y cronometra. El tiempo requerido para que la energía viaje al objetivo y regrese al sensor determina la distancia o alcance al objetivo. Al registrar la distancia y la magnitud de la energía

reflejada por todos los objetos a medida que son iluminados, se puede reconstruir una imagen bidimensional de la superficie como la mostrada a continuación.



A diferencia de las imágenes de los sensores ópticos, las imágenes de radar no se ven afectadas por la nubosidad ni la hora del día, por lo que a pesar de su menor período de repetición (debido a que la cantidad de estos sensores es muy inferior a la de sensores ópticos), tienen la ventaja de otorgar una secuencia de imágenes consistente en el tiempo, como se observa en la figura siguiente:



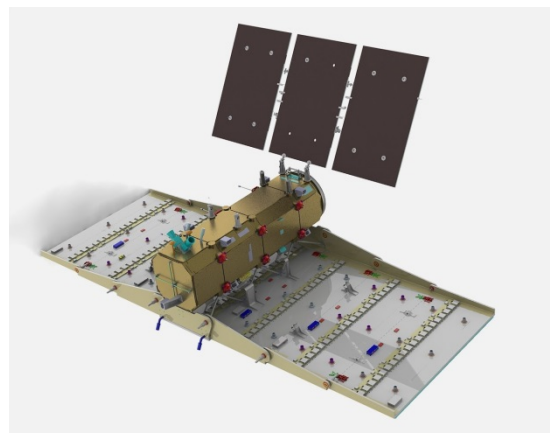
SAOCOM

(Información provista por la CoNAE)

Los satélites SAOCOM (Satélite Argentino de Observación con Microondas), a cargo de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) y fabricados por INVAP, tendrán a bordo un instrumento SAR destinado a la observación de la Tierra.

Si bien las imágenes que se obtengan de este instrumento podrán ser utilizadas para fines muy diversos, se han planteado una serie de objetivos relacionados a la producción agrícola:

- Generar información que permita a los productores tomar decisiones en cuanto a la óptima distribución de siembra, fertilización y riego a lo largo de la superficie del campo
- monitorear los cultivos para el uso óptimo de agroquímicos



- asistir en la gestión de diversas emergencias que puedan afectar al Agro.

La misión SAOCOM estará conformada por dos satélites idénticos, volando en constelación, con capacidad de mapear las 83 millones de hectáreas de la pampa húmeda en un lapso de 6 días. Para ello, tomará varias imágenes radar de la superficie de hasta 350km de ancho cada una, con una resolución de entre 10 y 100 metros, dependiendo del modo de adquisición configurado.

Los radares operarán en banda L, lo que los hace especialmente aptos para ser utilizados en análisis de suelos, debido a que esta banda presenta una muy buena penetración, pudiendo así realizar mediciones de humedad por debajo de la superficie. Por el mismo motivo, son capaces de realizar mediciones sobre el contenido de la vegetación, y no sólo de su superficie como sucede con otras bandas de menor longitud de onda.

Otra característica fundamental, es que los radares del SAOCOM serán full-polarimétricos. Esta característica permite sensor la superficie con hasta cuatro polarizaciones diferentes en forma simultánea, brindando así una mayor cantidad de información sobre las características de la zona sensada.

Una vez en órbita, los satélites SAOCOM serán, junto con el satélite japonés ALOS-2, los únicos capaces de tomar imágenes polarimétricas de la superficie en banda L, lo que los hace un recurso de importante valor estratégico para el crecimiento de la economía regional. A la vez, la superior sensibilidad del SAOCOM lo hará el único en su tipo capaz de medir las diferencias de humedad del suelo requeridas. El lanzamiento del primer satélite de la constelación está previsto para el 2018, y se completará con el lanzamiento del segundo satélite durante el 2019.

USO DE SAR EN AGRICULTURA

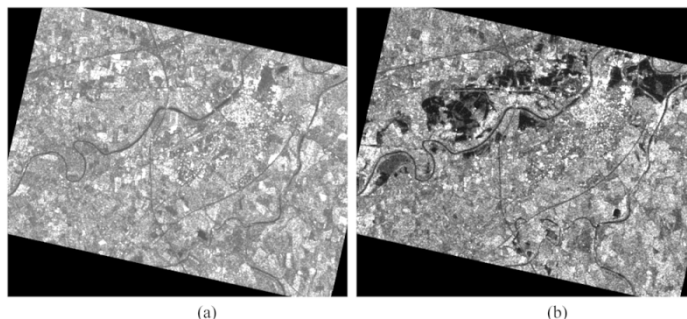
Los radares de apertura sintética pueden ser utilizados en distintas aplicaciones para la agricultura:

- Estimación de parámetros: biomasa, altura, LAI, WC, entre otros
- Clasificación de cultivos
- Inventario, predicción y rendimiento de la producción
- Evaluación de salud y daños de los cultivos
- Mapa de rastrojos
- Mapeo y predicción de inundaciones
- Humedad del suelo y monitoreo de sequías
- Patrones de irrigación
- Intensidad de labranza
- Mapeo de daños por incendios

Si bien se ha publicado una gran cantidad de trabajos sobre estos temas utilizando sensores ópticos, varias de estas aplicaciones siguen siendo complejas, las mediciones están sujetas a error y en muchos casos es complicado llegar a un método que pueda ser utilizado de manera global. Es por ello que si a la información obtenida mediante cámaras se le agrega información obtenida con SAR, se pueden implementar estimadores más precisos sobre las diferentes parámetros de interés.

Así como los sensores ópticos son capaces de obtener información en las diferentes bandas, los sensores SAR también permiten diferentes configuraciones, cada una de las cuales puede pensarse como que nos brinda información adicional sobre la misma porción de terreno.

El siguiente ejemplo, relacionado con el mapeo de inundaciones, muestra la diferencia en las zonas sensadas, antes y después de una gran inundación del Río Tanaro en Italia a fines de 1994.



En la imagen se observa que las zonas inundadas, que se corresponden a las zonas más oscuras de la imagen de la derecha, son fácilmente identificables.

PARÁMETROS TÉCNICOS EN SENSADO REMOTO

REVISITA

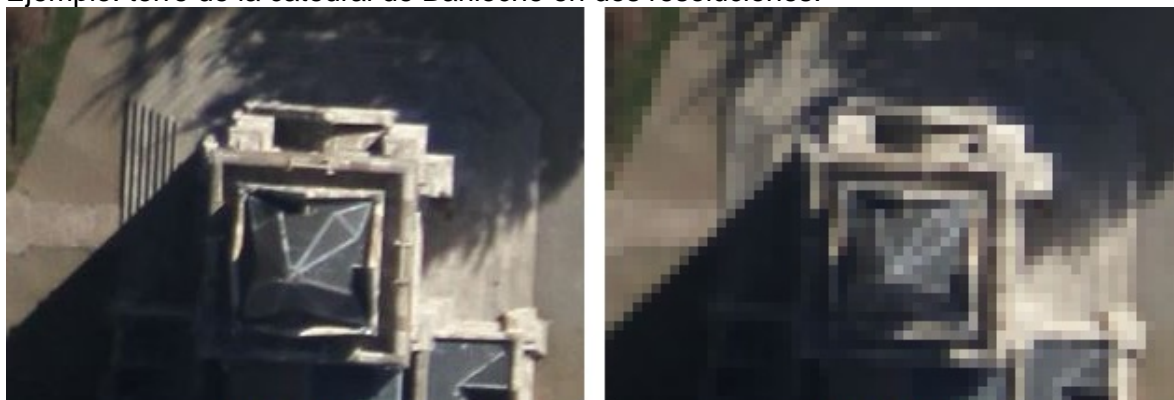
El tiempo de revisita de un satélite es el tiempo transcurrido entre observaciones de un mismo punto en la Tierra por parte del satélite. Depende de la órbita del satélite, la ubicación del objetivo y el ancho de visión del sensor.

La revisita se relaciona con la misma traza sobre la tierra; una proyección sobre la tierra de la órbita del satélite. Se requiere una repetición muy cercana de esa traza. Para agricultura de precisión el tiempo de revisita debe estar entre 3 y 30 días, aproximadamente.

RESOLUCIÓN ESPACIAL

Una imagen digital consiste en una matriz de píxeles. Cada píxel contiene información de un área pequeña en la superficie del suelo, que se considera como un solo objeto. La resolución espacial es la dimensión más pequeña sobre la Tierra que puede medirse con ese sensor. Se expresa por el tamaño del píxel proyectado en el suelo, en metros.

Ejemplo: torre de la catedral de Bariloche en dos resoluciones:



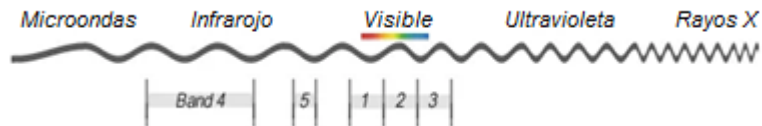
0,1 x 0,1 m

0,5 x 0,5 m

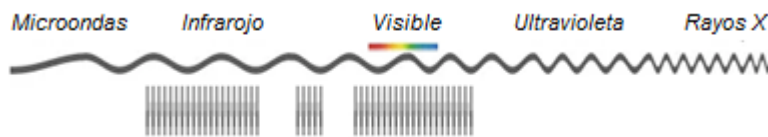
Para agricultura de precisión la resolución espacial debe estar entre 30 cm y 9 m, aproximadamente.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El Espectro electromagnético está compuesto por las ondas que ocurren en la naturaleza, cada onda se identifica por su longitud de onda. Las ondas se agrupan por tipos, en la siguiente figura se ejemplifican las bandas típicas en un sensor multispectral:



En la siguiente figura se ejemplifican las bandas en un sensor hiperespectral:



SATÉLITES CONVENCIONALES DE SENSADO REMOTO

Desde un punto de vista operativo, los sistemas espaciales se diferencian de otros sistemas tecnológicos complejos, en:

1. El ambiente hostil del espacio: los satélites están sometidos a temperaturas extremas (altas y bajas), al vacío casi absoluto y a intensas radiaciones ionizantes.
2. El mantenimiento remoto: salvo en muy contados casos (por ejemplo, el telescopio Hubble) los satélites no se reparan por el costo prohibitivo de dicha tarea, además la posibilidad de mantenimiento es muy limitada.
3. La operación remota: los satélites se operan desde la tierra, mediante comunicaciones por radio. En el caso de satélites de órbita baja (aptos para sensado remoto) la comunicación normal está restringida a algunos contactos de pocos minutos cada uno, sumando, en general, menos de una hora diaria. Durante el resto del tiempo, el satélite debe desenvolverse y sobreponerse a cualquier falla de manera autónoma.

Estas características llevan a sistemas de alta complejidad, que requieren pruebas extensivas antes de ser enviados al espacio. El diseño incluye amplios márgenes y técnicas especiales para maximizar su robustez (por ejemplo, duplicar elementos que puedan fallar o dañarse). La fabricación comprende técnicas y materiales especiales. Por todas estas razones, los satélites son muy costosos. Tradicionalmente la industria de satélites se ha orientado al desarrollo de satélites de muy altas prestaciones, buscando mejorar la relación prestación/costo.

El resultado es que, además de algunos organismos nacionales, pocos actores tienen los recursos para este tipo de desarrollos.

La siguiente figura muestra el satélite LandSat-8, su costo es superior a los 650 MUSD



NANO SATÉLITES

Dado el costo limitante del desarrollo de satélites convencionales, desde hace unos 20 años, algunos actores de la industria espacial empezaron a explorar alternativas que hicieran más accesible la actividad de sensado remoto.

En este sentido, se apuntó a dos grandes ítems de costo dentro de una misión satelital:

- El costo del satélite
- El costo de lanzamiento

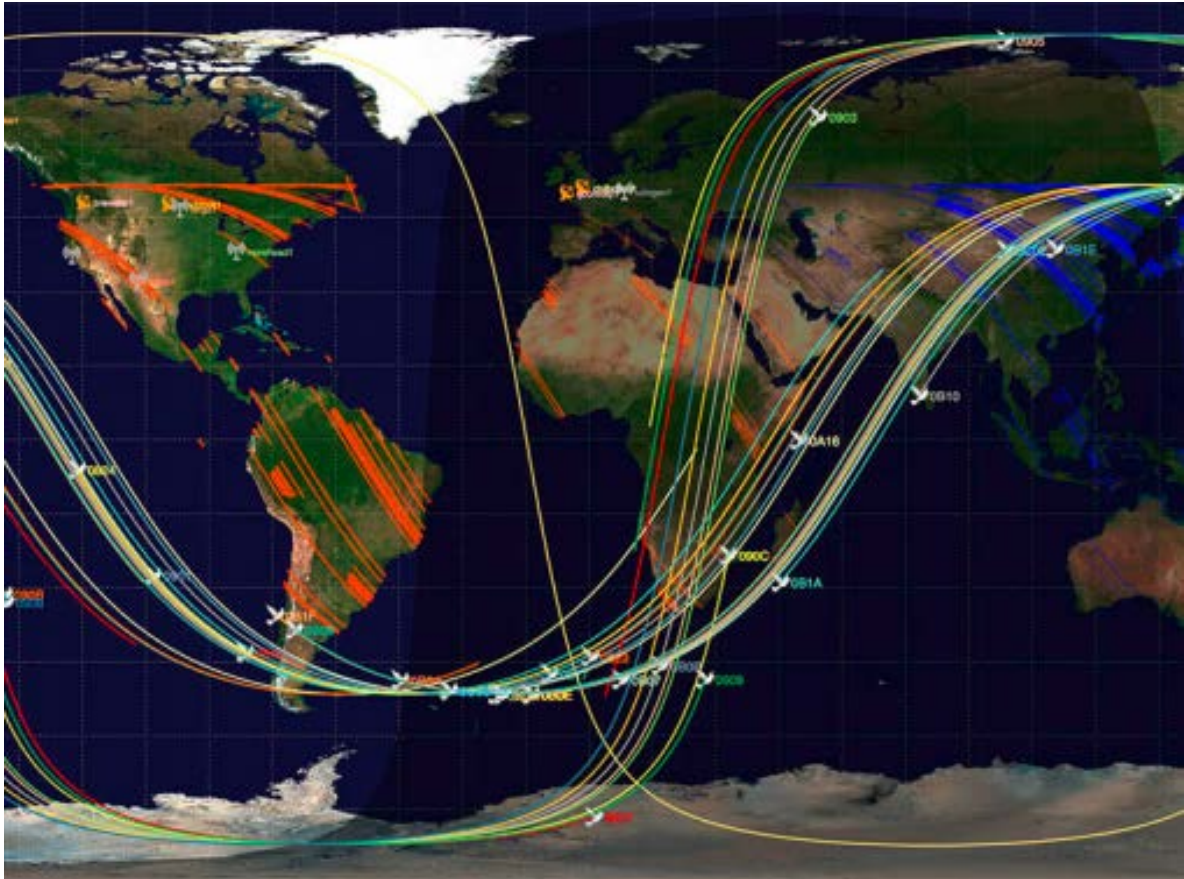
Una solución que se está explorando y genera un gran entusiasmo, es la de los nanosatélites, que van en el rango de 1 a 50 kg, siendo un caso particular, el de las constelaciones de nanosatélites, que prometen disminuir las pérdidas económicas por fallas y a la vez aumentar la cobertura y la revisita y una substancial reducción de costo debido a que los satélites se producen en serie.

También permiten aprovechar oportunidades de mejorar el costo de lanzamiento, ocupando lugares como complemento de satélites grandes, por ejemplo, un cohete que puede llevar 6000 kg, y está contratado para llevar un satélite de 5000 kg, podrá ver ocupados los 1000 kg libres, por distintos satélites, que pagarán un menor precio por kg.

Es importante destacar que como contrapartida de un menor costo, los nanosatélites ofrecen menores prestaciones técnicas, principalmente reflejadas en:

- Mayor error en la georeferencia
- Mayor error en la reflectancia
- Menor vida útil

PLanet Labs flock constellation orbits:



CONCLUSIONES

Las nuevas ideas y desarrollos generan una gran expectativa en las distintas comunidades de usuarios de la actividad agrícola.

En el campo de sensores, se empiezan a tener resultados de sensores hiperspectrales y SAR, que indican la dirección en la que debería ir el desarrollo de los futuros sensores.

Con respecto a las plataformas, en este momento se encuentran en órbita varias constelaciones de nanosatélites, que están en la fase de puesta a punto. De estos trabajos pioneros surgirá parte del conocimiento que dará forma a la industria espacial en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

John R. Jensen. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, 2nd edition, 2007

David J. Mulla. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps

Mattia, F., Le Toan, T., Picard, G., Posa, F. I., D'Alessio, A., Notarnicola, C., Gatti, A. M., Rinaldi, M., Satalino, G., & Pasquariello, G. (2003). Multitemporal C-band radar measurements on wheat fields. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 41(7), 1551 -1559

De Roo, R. D., Du, Y., Ulaby, F. T., & Dobson, M. C. (2001). A semi-empirical backscattering model at L-band and C-band for a soybean canopy with soil moisture inversion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(4), 864–872.

Pierdicca, N.; Chini, M.; Pulvirenti, L.; Macina, F. Integrating Physical and Topographic Information Into a Fuzzy Scheme to Map Flooded Area by SAR. *Sensors* 2008, 8, 4151-4164.

Riedel T, Eckardt R, Module 3202: Biosphere – Agricultural Applications with SAR Data. Retrieved on 2017-09-18 from <https://saredu.dlr.de/unit/agriculture>