

Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Instituto de Astrofísica de Andalucía



VARIABILIDAD FOTOMÉTRICA DEL COMETA C/2012 S1 (ISON) A 4.8 UA DEL SOL

IV REUNIÓN DE CIENCIAS PLANETARIAS
Y EXPLORACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

P. Santos Sanz, J.L. Ortiz, N. Morales, R. Duffard,
F. Pozuelos, F. Moreno, y E. Fernández-Valenzuela.

Alicante, 10 de Junio de 2015

Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

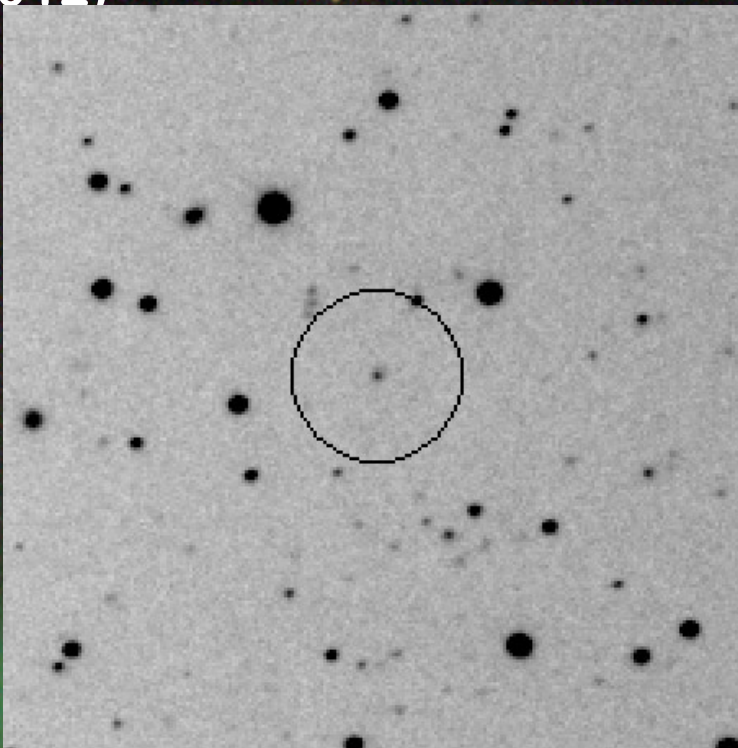
ESQUEMA de la CHARLA

1. RETRATO de C/2012 S1 (ISON)
2. PERÍODOS de ROTACIÓN de COMETAS (fotometría)
3. OBSERVACIONES
4. FOTOMETRÍA de APERTURA
5. DISCUSIÓN
6. RESUMEN

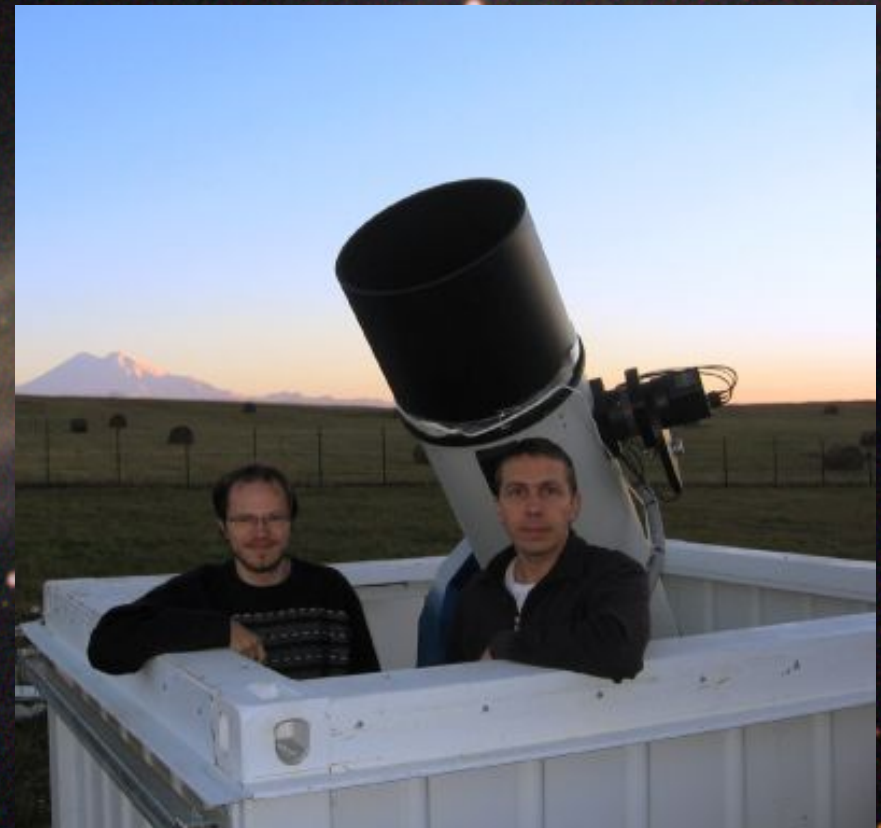
Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

RETRATO de C/2012 S1 (ISON)

- Descubierta el **21 de septiembre de 2012**, $r_h = 6.3$ AU \rightarrow Nevski and Novichonok con el “**International Scientific Optical Network**” (ISON) cerca de Kislovodsk, Rusia (Nevski & Novichonok 2012)



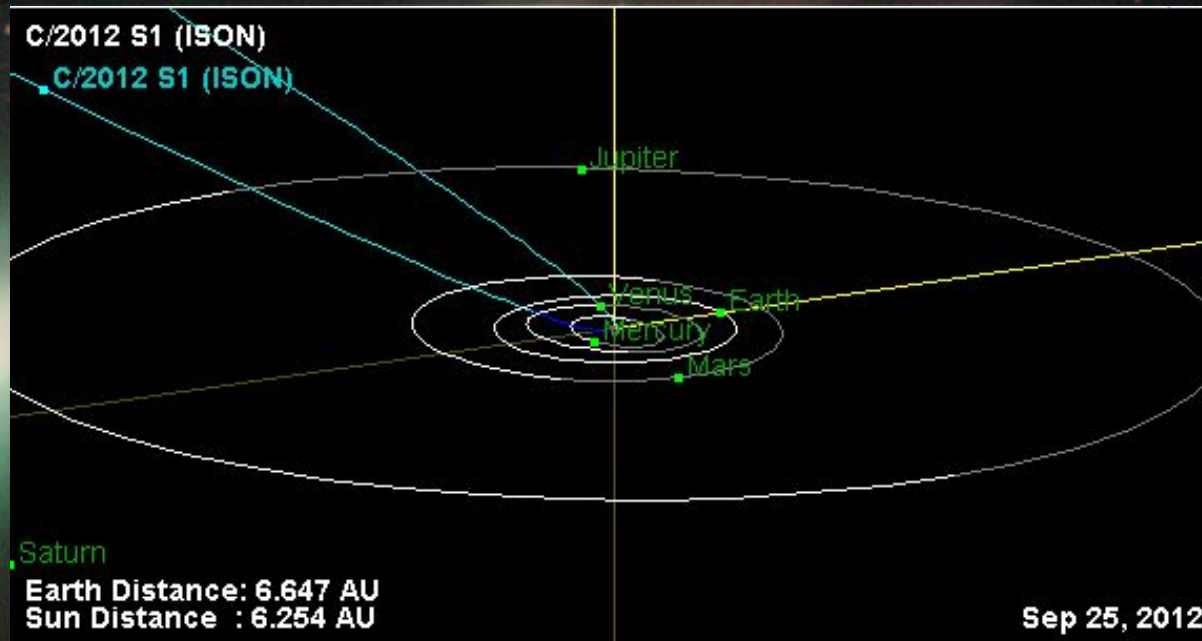
Comet C/2012 S1. 21 Sep. 2012, 01h 15m (UT)
0.4-m reflector f/3 + CCD, exp. 5x100sec, 2"/pix., crop 200%
ISON-Kislovodsk observatory
Observers: V. Nevski, A. Novichonok



Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

RETRATO de C/2012 S1 (ISON)

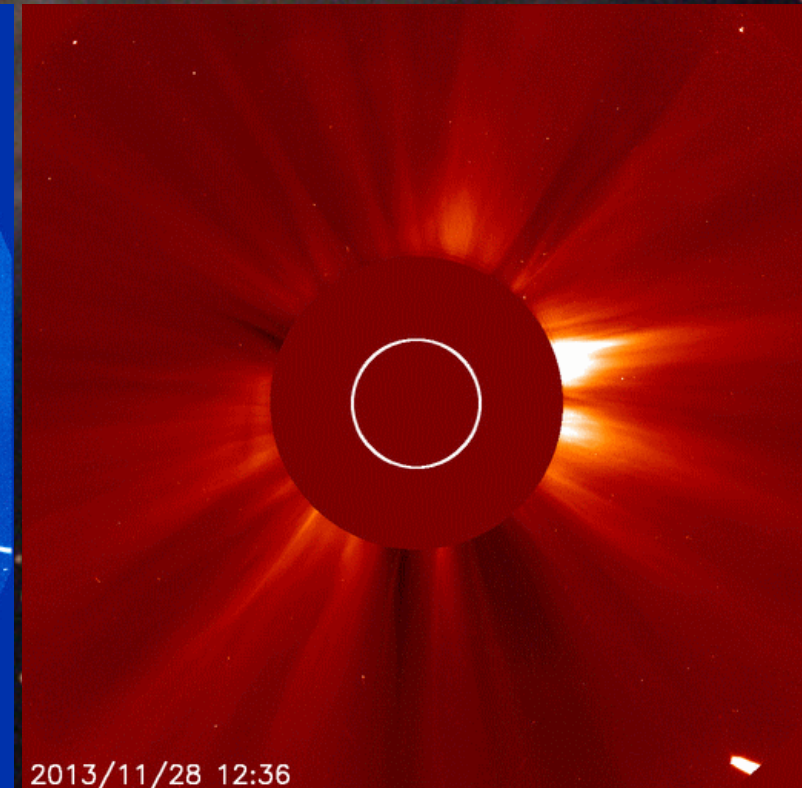
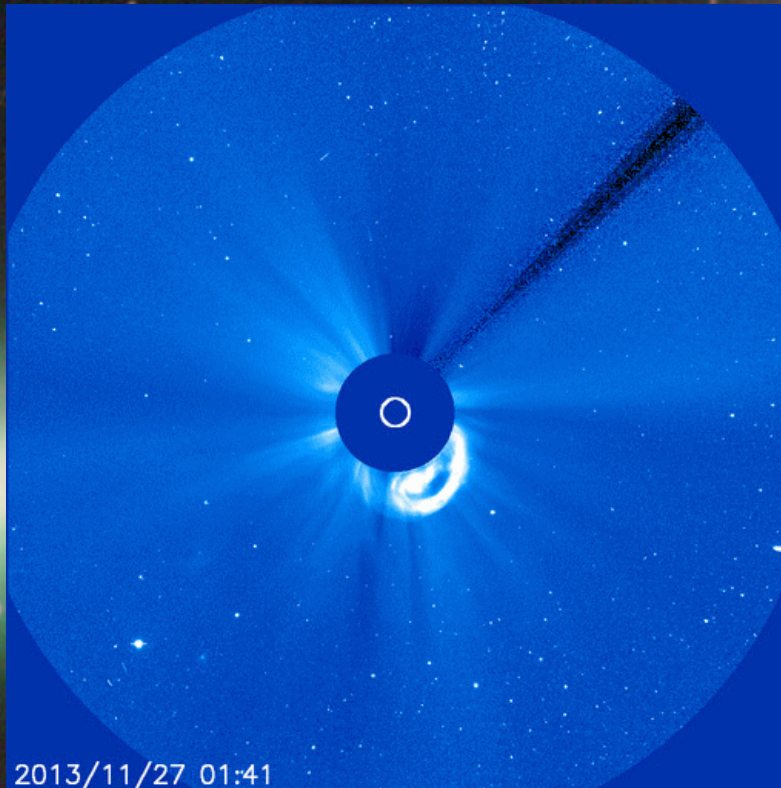
- Se calcula su órbita rápidamente → imágenes predescubrimiento del Mount Lemmon Survey y de Pan-STARRS.
- Órbita casi **parabólica** → cometa dinámicamente nuevo (proveniente directamente de la **nube de Oort**):
 - Núcleo probablemente rico en hielos y especies nunca irradiadas por el Sol (Agúndez et al. 2014)
 - **Gran actividad y brillo esperables** cerca del perihelio.



Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

RETRATO de C/2012 S1 (ISON)

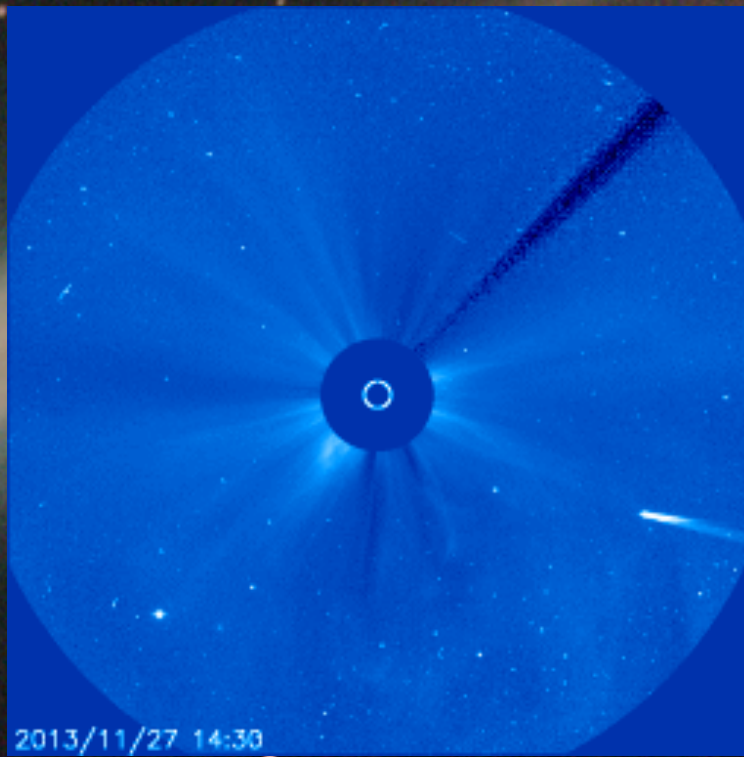
- ISON rozó el sol (**sungrazing**), pasando a sólo **0.012 UA** del sol (**$2.7 R_{\text{Solares}}$**)
- **Perihelio: 28 Noviembre 2013**, $m_v \sim -2$ mag (imágenes de SOHO/STEREO: Knight et al. 2013)
- Acercamiento tan grande al Sol \rightarrow **posible desintegración del núcleo.....**



Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

RETRATO de C/2012 S1 (ISON)

- El núcleo (o algún trozo del mismo) **pareció sobrevivir al perihelio** → **el brillo de ISON decayó dramáticamente en corto período de tiempo** (Knight & Battams 2014; Combi et al. 2013; Moreno et al. 2014)
- No se recupera tras perihelio (Sako et al. 2014)
- **El núcleo no sobrevivió** el acercamiento al Sol y se volatilizó totalmente (Sekanina & Kracht 2014)



- **Fotometría de series temporales** → **períodos de rotación** de núcleos cometarios (Fay & Wisniewski 1978; Jewitt 1990; Meech et al. 1997; Gutiérrez et al. 2003; Snodgrass et al. 2005, 2008; Lamy et al. 2005; Lowry et al. 2012; Mottola et al. 2014)
- Más sencillo para **núcleo inactivo** (no coma de gas/polvo) → también posible cuando hay actividad/coma.
- Variabilidad de brillo en un núcleo cometario activo puede deberse a:
 - a) la **rotación de núcleo no esférico** que refleja diferente cantidad de luz solar dependiendo de la sección de área
 - b) **Variaciones periódicas de la producción gas/polvo** debidas a la insolación diurna.
 - c) **Estallidos de actividad** y/o otros cambios aleatorios.

Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

PERÍODOS de ROTACIÓN de COMETAS

- Luego...para obtener la variabilidad debida a la rotación del núcleo es **preferible que esté inactivo**
- En caso de **actividad** es posible obtener el período rotacional del núcleo mediante **fotometría de la coma interna** → da información de variaciones de actividad cíclicas diurnas relacionadas con la rotación nuclear (Millis & Schleicher 1986; Schleicher et al. 1990)
- En nuestras observaciones de ISON ($r_h = 4.8$ UA) el cometa presentaba coma en un estado “**inactivo**” (**estable**) → se puede derivar el período de rotación del núcleo por fotometría de apertura.
- Un factor importante a tener en cuenta son las **posibles variaciones de seeing** durante cada noche y de noche a noche lo que podría afectar la fotometría final y producir **períodidades espurias** (Jewitt 1990; Licandro et al. 2000)

Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

OBSERVACIONES

- **Telescopio 0.77 m**, f/3 del Observatorio de La Hita (Toledo)
- Observado 8,9,11-14 de **Febrero de 2013 (6 noches)**. Sin filtro.
- CCD 4000 x 4000, escala= 0.705 arsec/pixel (**FOV= 48.1' x 48.1'**)
- $r_h = 4.84 - 4.77$ UA, $\Delta = 4.01$ UA, $FWHM_{\text{median}} = 4.8''$
- Tiempo integración: suficiente S/R + cometa no elongado (~150 s)

Date	JD [days]	Images	r_h [AU]	Δ [AU]	α [deg]	$FWHM$ [arcsec]
2013-Feb.-08	2 456 332.47479–2 456 332.58176	42	4.839	4.010	6.963	4.87
2013-Feb.-09	2 456 333.37477–2 456 333.62491	97	4.828	4.009	7.169	4.65
2013-Feb.-11	2 456 335.38203–2 456 335.61912	68	4.806	4.008	7.587	5.30
2013-Feb.-12	2 456 336.40498–2 456 336.50574	40	4.796	4.008	7.780	5.01
2013-Feb.-13	2 456 337.42286–2 456 337.60275	76	4.784	4.008	7.996	4.59
2013-Feb.-14	2 456 338.32476–2 456 338.60417	79	4.773	4.008	8.188	4.14

- Imágenes corregidas de flat y bias con las técnicas habituales
- **Fotometría de apertura relativa** usando Daophot (Stetson 1987) y un **máximo de 25 estrellas** de comparación.
- Errores medios en la magnitud relativa de ISON **~ 0.02 mag**
- Mucho cuidado con las fuentes de fondo para no introducir contaminación en la fotometría. Se descartan imágenes con cósmicos o artefactos dentro de la apertura.
- Se probaron **aperturas entre 5.6'' – 14.0''**
- Apertura suficientemente pequeña para **maximizar S/R** y suficientemente grande para **perder mínimo flujo**. Apertura ~ FWHM

Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

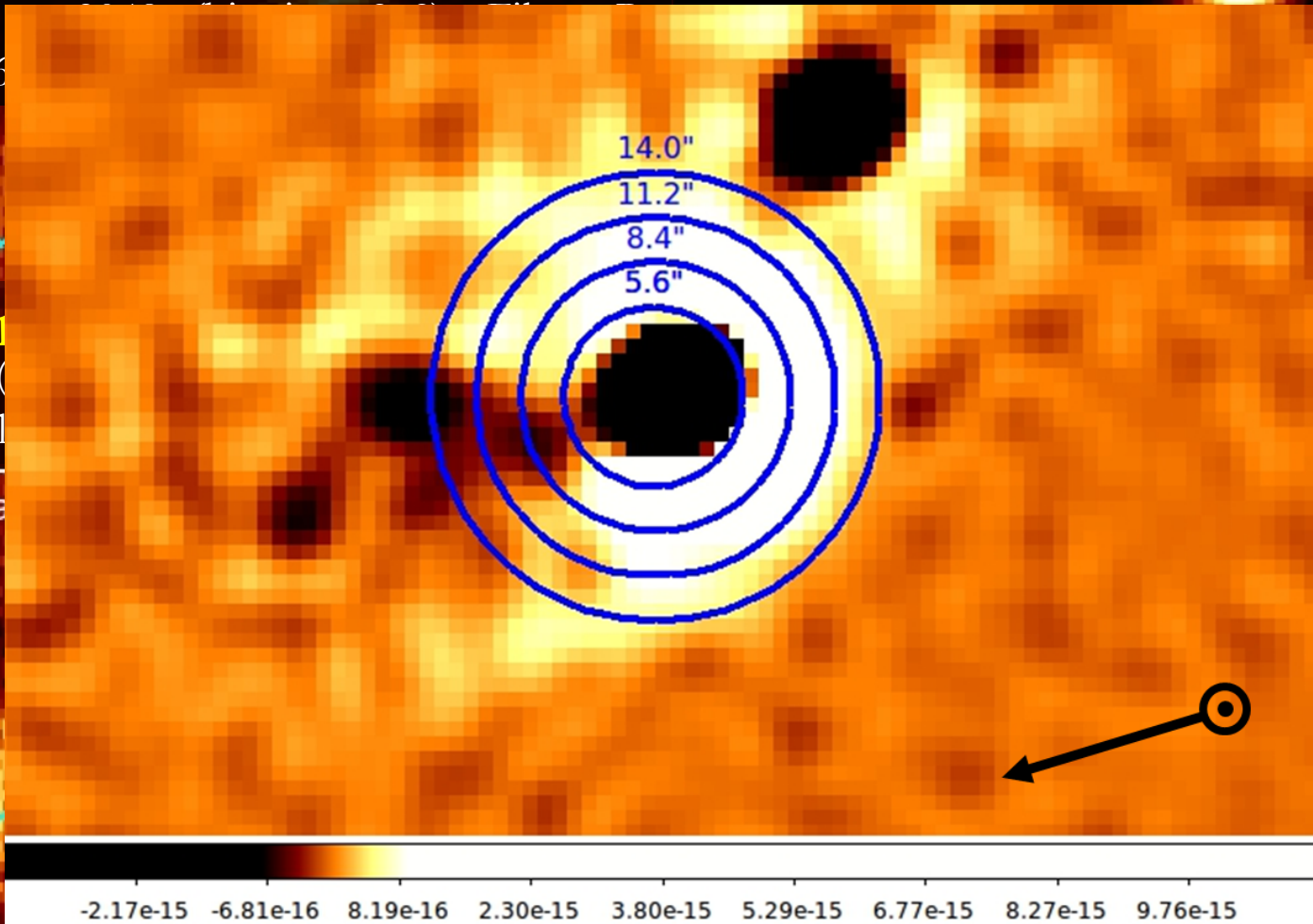
FOTOMETRÍA de APERTURA

Unfiltered

Low-Pass filter

CCD 2048
Escala= 0.46

Apertura óptica
resolución (arcsec)
Moreno et al. (2014)
Larson-Sekala et al. (2014)



- Elegimos sólo las **estrellas de referencia** que dan **menos dispersión** (se descartan las variables)
- **Fotometría final** → mediana de todas las CLs obtenidas con respecto a cada estrella de referencia: **minimiza dispersión y elimina resultados espurios**
- Idealmente: **mismas estrellas referencia** (FOV grande) → no es posible para ISON ($v \sim 0.55$ arcsec/min) → **mismas referencias 2-3 noches** → conjuntos de noches con diferentes referencias se calibran usando imágenes de los mismos campos tomadas después de la campaña bajo condiciones fotométricas.
- Se prueba la estabilidad del método usando diferentes aperturas.

Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

RESULTADOS

- Se buscan **periodicidades** usando la técnica de **Lomb** (1976)
- Se corrigen las JD por tiempo luz (~ 33 min.)
- Se corrigen las magnitudes relativas por el cambio de r_h y Δ :

$$m(1, 1) = -2.5 \cdot \log(\text{flux}) - n \cdot \log(r_h) - 5 \cdot \log(\Delta)$$

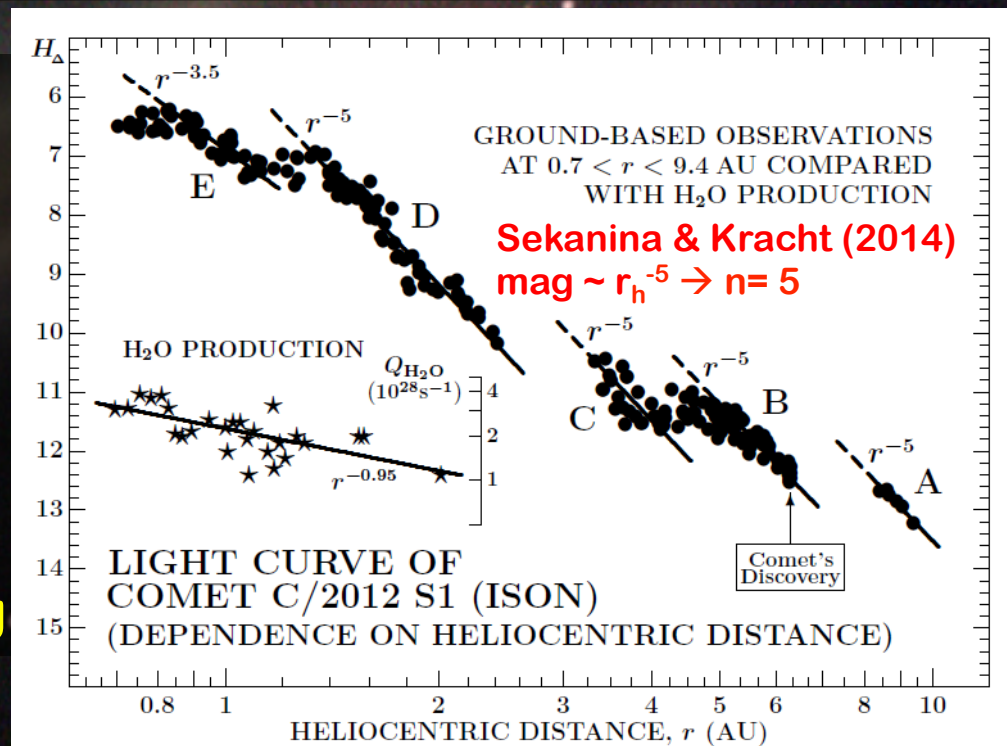
$n \rightarrow$ **cambio magnitud con r_h** :

$n=5$ no atmósfera (asteroides)

$n=20$ atmósfera /coma activa

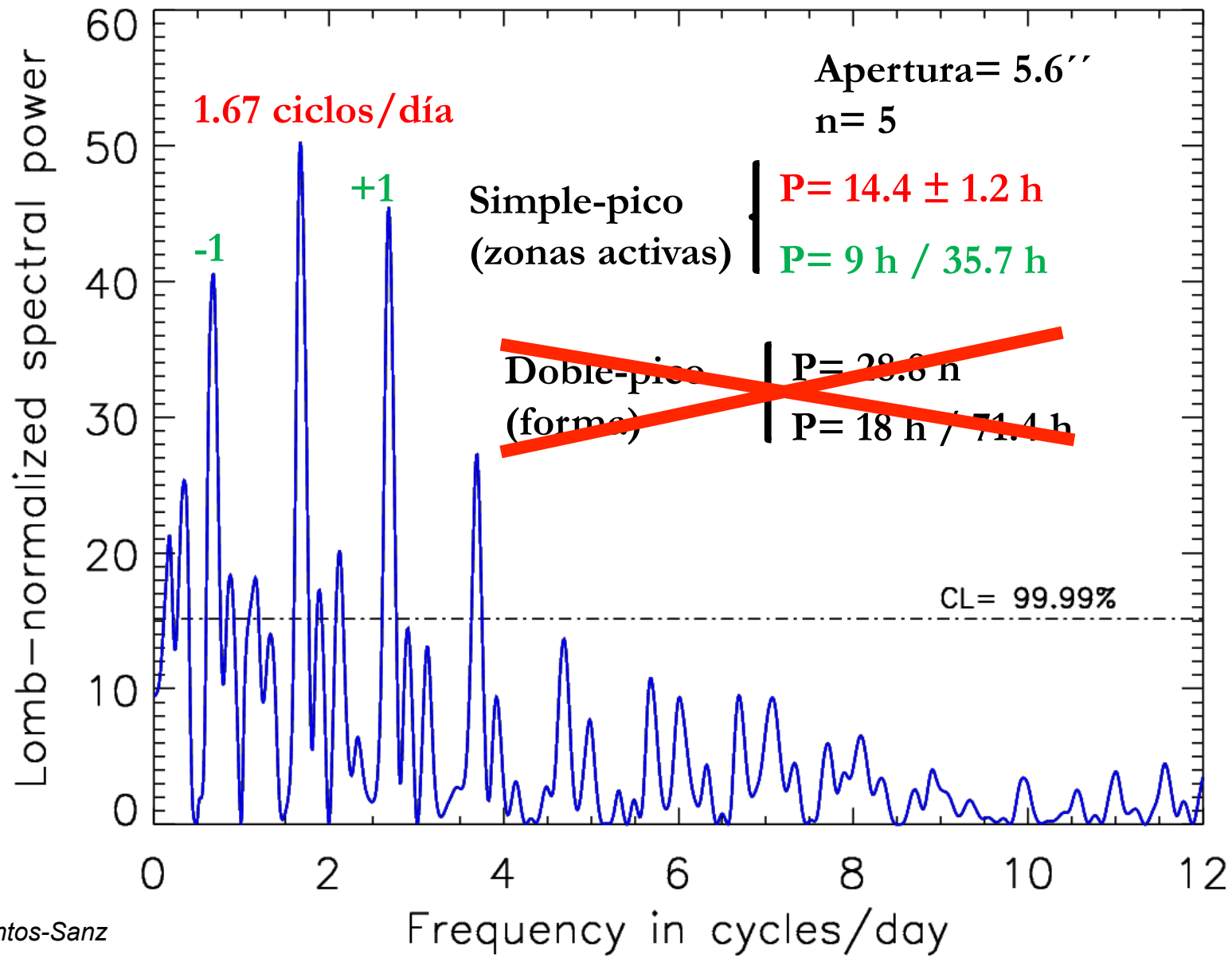
• Períodogramas de Lomb compatibles

• **No periodicidades con el seeing**



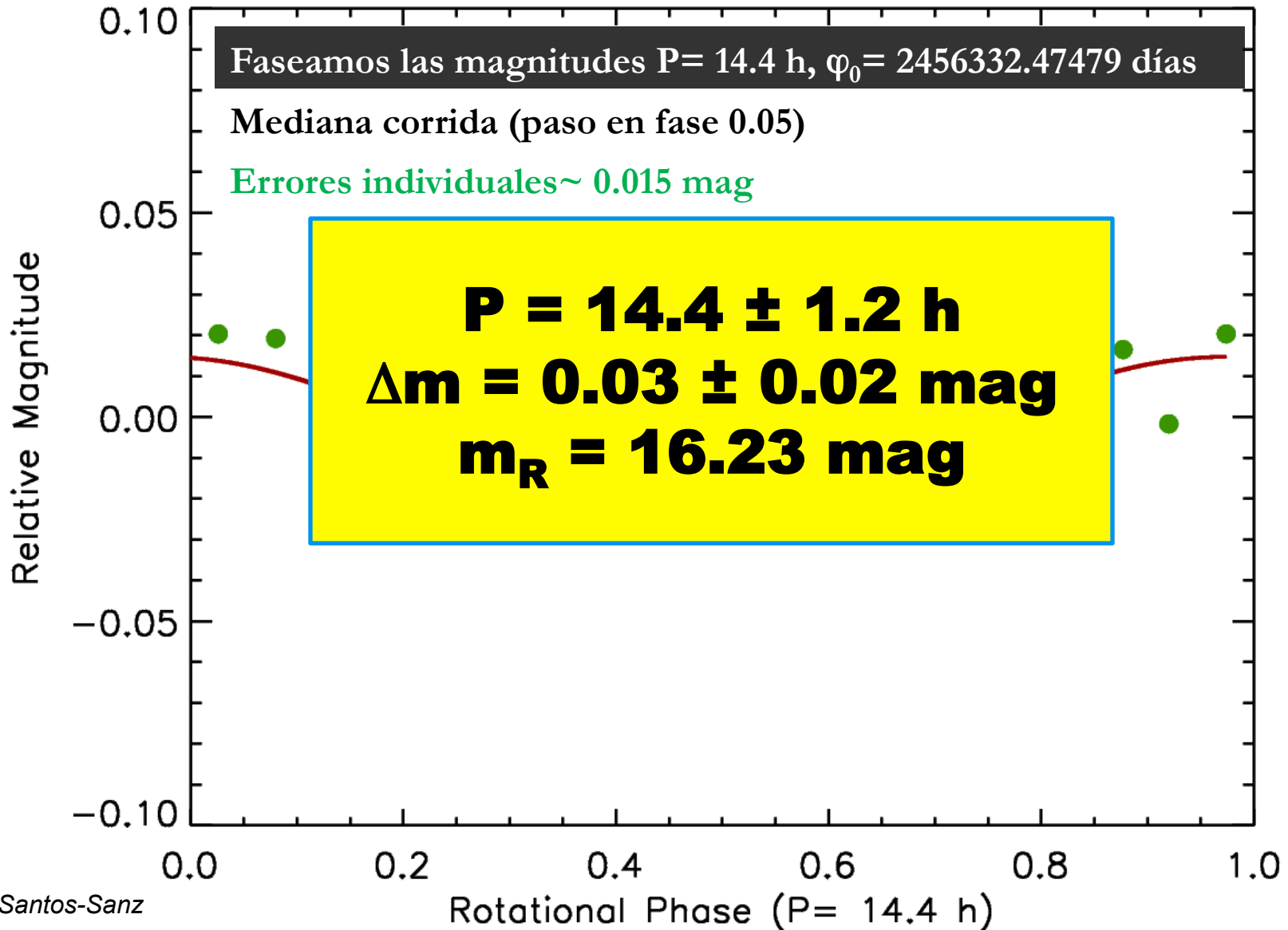
Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

RESULTADOS

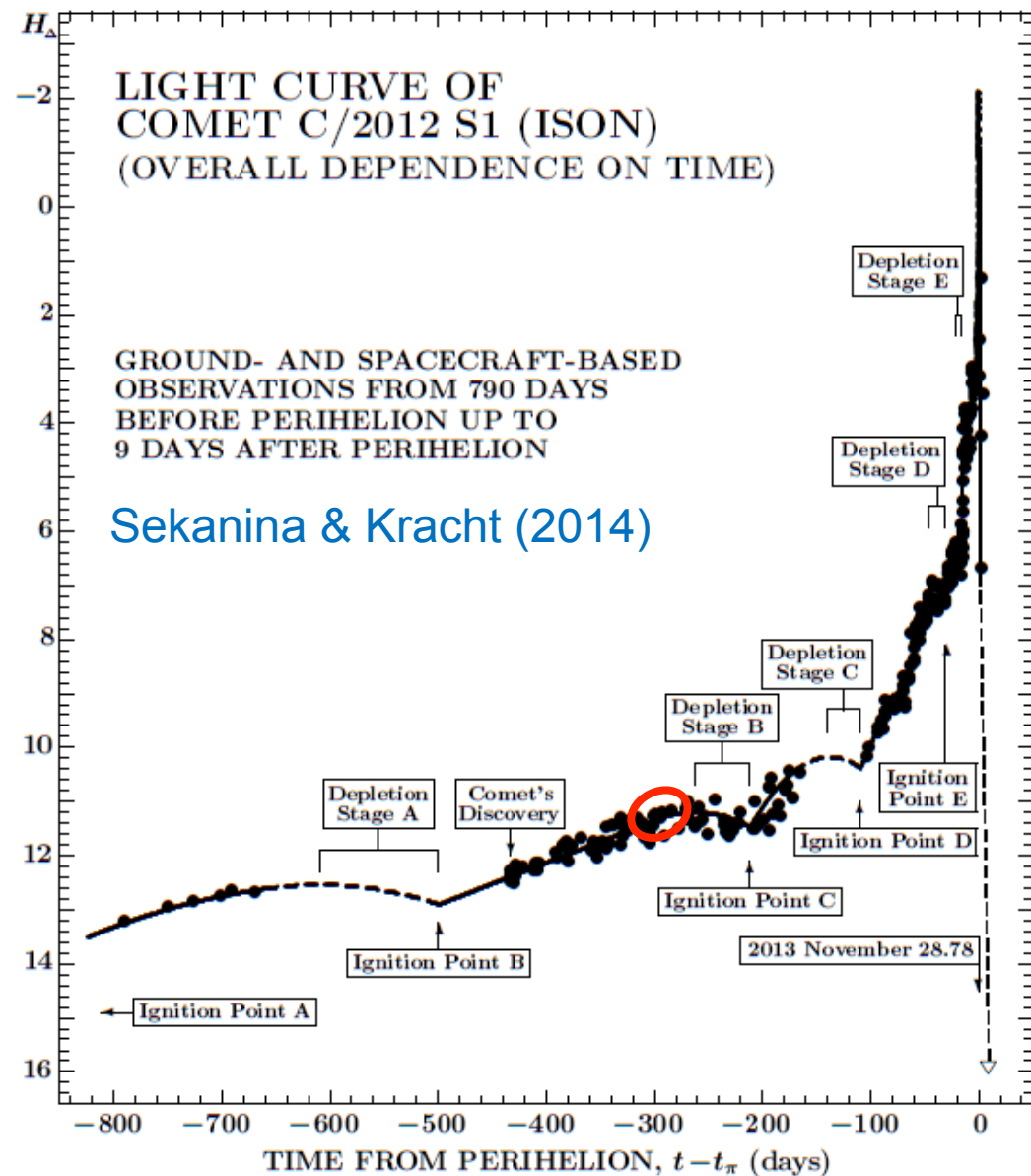


Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

RESULTADOS



- Estas observaciones se obtuvieron cuando ISON se encontraba a **293-287 días previos al perihelio**, cuando el cometa no estaba muy activo ‘**estado de reposo**’ (sin variación dramática o actividad) → **período de rotación del núcleo se puede obtener mediante fotometría de apertura**



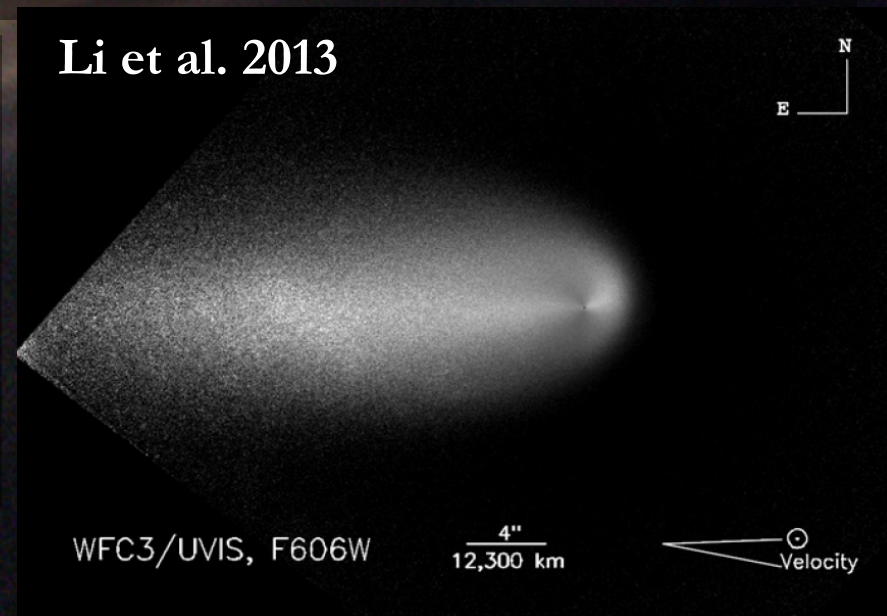
- Indicios de que la **iluminación del núcleo** fue **casi constante** hasta la semana anterior al perihelio → **casi misma zona del núcleo fue iluminada por el sol** hasta $r_h = 1$ UA (Moreno et al. 2014; Li et al. 2013)
- Modelos de polvo (Moreno et al. 2014, Feb. 2013) y detección directa en imágenes del HST (Li et al. 2013, Abr. 2013) → **Chorro apuntando en dirección solar** (ángulo apertura 45°) → el chorro no cambia durante HST y campañas desde tierra → dirección cuasi-polar ($l = 50-80^\circ$). Polo apuntando ~ hacia la tierra (**pole-on**, $\theta \sim 0^\circ$)

- Baja amplitud 0.03 ± 0.02 mag:

- i) **núcleo no esférico** ($\theta \sim 0^\circ$)
variabilidad debida a \neq area

- ii) núcleo en rotación con
diferentes **zonas activas**

Li et al. 2013



Variabilidad fotométrica de ISON a 4.8 UA

DISCUSIÓN

- Si asumimos un **núcleo de 4 km** (Li et al. 2013) con $p_V = 5\%$, $r_h = 4.8$ UA, $\Delta = 4.0$ UA embebido en la coma $\rightarrow m_R = 21.9$ mag ($\sim 0.5\%$ del flujo total –núcleo+coma– $m_R = 16.2$ mag)
- Si el núcleo en rotación fuera **muy elongado** (Jacobi $a > b > c$, $a/b = 2$, $\theta = 90^\circ$) $\rightarrow \Delta m = 0.003$ mag ($\sim 10\%$ de la Δm medida en ISON)
- Comoquiera que **$D < 4$ km** (Delamere et al. 2013, $D < 1.2$ km), **$a/b < 2$** , **$\theta \neq 90^\circ$** ($\theta \sim 0^\circ$) \rightarrow contribución de la luz reflejada en un núcleo en rotación al flujo total **$< 10\%$**
- La **variabilidad que medimos** en la coma interna se debe probablemente a **regiones activas** en el núcleo \rightarrow producen variabilidad detectable (**de pequeña amplitud**) relacionada con el período de rotación nuclear \rightarrow Esto es posible si el polo no está exactamente situado en el punto subsolar \rightarrow exposición periódica de pequeñas regiones nucleares que se activarían

- Se obtiene **fotometría precisa** de serie temporal de la coma interna de C/2012 S1 (ISON) - $r_h = 4.8$ UA, $\Delta = 4.0$ UA- (6 días entre el 8-14 Febrero 2013). **$m_R = 16.23$ mag**
- Se obtiene posible **período de rotación sinódico** (simple-pico) para el núcleo de ISON mediante periodograma de Lomb-Scargle **14.4 ± 1.2 h**. Dos alias a ± 24 h también posibles soluciones (9.0 h / 35.7 h). Los períodos doble-pico también son posibles (aunque menos probables)
- Se obtiene **Δm pico-valle** de la CL faseada **0.03 ± 0.02 mag**
- Todos estos resultados son compatibles con la configuración geométrica e iluminación del núcleo de ISON obtenida en Febrero de 2013 (Li et al. 2013; Moreno et al. 2014) y apuntan a **variabilidad debida a regiones activas** en el núcleo

¡MUCHAS GRACIAS!

