

Universidad de Los Andes
Facultad de Ciencias
Posgrado en Física Fundamental

Proyecto Especial de Grado

Búsqueda y caracterización
de la población de binarias eclipsantes
en el catálogo QUEST de estrellas variables

Lic. Bolivia Cuevas

Universidad de Los Andes (ULA)

Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA)

Tutor: Dra. Cecilia Mateu

Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA)

Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México
(IA-UNAM))

Mérida, Octubre de 2014

Agradecimientos

A Bolivia, Ananías y Carmen, mi madre y mis tías, por su apoyo incondicional en todo momento, por ser ese soporte necesario. A Jorge, por siempre escucharme y tener la palabra justa en el momento necesario. A Madeleine, Alfredo, Alice y a todos los estudiantes del CIDA, por crear un ambiente de trabajo agradable y por su valiosa ayuda en todo momento. A la Fundación CIDA.

A la Dra. Kathy Vivas, por su colaboración para los fines de este trabajo. Al Dr. Juan José Downes, por su valiosa ayuda. A la Dra. Fabiola Hernández, por su paciencia y su colaboración activa en este trabajo, por brindarme gran parte de su tiempo para aclarar dudas.

De manera muy especial, quiero agradecer a mi tutora, la Dra. Cecilia Mateu, por su paciencia infinita, sus consejos, su disposición, su amabilidad, comprensión. Por mantenerme siempre motivada y con la vista siempre en la meta. Un “Gracias” no basta para expresar mi agradecimiento.

Y a todos, los que han formado parte de este logro.

www.bdigital.ula.ve

Resumen

El objetivo general del siguiente trabajo fue la búsqueda y caracterización de la población de binarias eclipsantes en el sondeo de estrellas variables a baja latitud galáctica de QUEST el cual cubre un área total de 476 grados cuadrados en el cielo y consta de observaciones multi-época en los filtros V, R e I obtenidas en su totalidad con el telescopio Schmidt y la cámara QUEST-I de mosaico del Observatorio Astronómico Nacional (OAN), situado en Llano del Hato, Edo. Mérida.

Se identificaron 1125 candidatas, constituidas por 179 EA, 60 EB y 886 EW, que corresponden a 15.9%, 5.3% y 78.8% del catálogo total respectivamente. Posterior a la identificación de binarias eclipsantes en el catálogo de estrellas variables de QUEST, se procedió a estimar la completitud del catálogo obtenido a través de la simulación de una biblioteca de curvas de luz de binarias eclipsantes. De la muestra sintética se identificaron 43.8% como estrellas variables. A partir de esta muestra se procedió a estimar una medida de la completitud de la identificación de binarias eclipsantes. La completitud de la identificación de binarias eclipsantes es máxima para estrellas con amplitudes V mayores a 1 mag, para las que va de $\sim 35\%$ para $V \sim 15$ mag hasta $\sim 10\%$ para $V \sim 19$ mag. Éste comportamiento se observa consistentemente en todos los filtros. Para estrellas con amplitudes $< 0,5$ mag la completitud máxima es $\sim 20\%$ para $V \sim 14$ mag, llegando a ser nula para $V \sim 19$ mag.

Se procedió a simular una población de binarias eclipsantes con características del Disco Delgado tomando en cuenta la evolución de cada sistema y las propiedades integradas de la población. Para lograr dicho objetivo, se hizo uso de la herramienta BASSIC (Hernández-Pérez & Bruzual, 2013), que genera una población de sistemas binarios (no necesariamente eclipsantes) con sus parámetros físicos y colores a partir de los cuales conjuntamente con un sistema de filtros y un muestreo temporal arbitrarios, con la ayuda de plantillas propuestas para cada tipo de binario en este trabajo se obtienen las curvas de luz de cada sistema. Los procedimientos realizados en el diseño de dicha herramienta, aseguran que se simule el proceso de observación y los errores derivados de ésta.

www.bdigital.ula.ve

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Sistemas binarios	1
1.1.1. Clasificación de los sistemas binarios	2
1.2. Clasificación de las Binarias Eclipsantes	4
1.2.1. Clasificación según el grado de transferencia de masa	4
1.2.2. Clasificación según la forma de la curva de luz	4
1.3. Importancia astrofísica de las binarias eclipsantes	7
1.4. Sondeos de variabilidad	10
1.5. Caracterización de la completitud del sondeo	11
1.6. Objetivos del presente trabajo	13
1.7. Estructura de la tesis	13
2. Simulación de Curvas de Luz de Binarias Eclipsantes	15
2.1. Simulador de curvas de luz de binarias eclipsantes	15
2.2. Cálculo de parámetros de la curva de luz	16
2.2.1. Obtención de parámetros físicos mediante BASSIC	16
2.2.2. Cálculo de parámetros de las curvas de luz	23
2.2.3. Muestreo temporal y errores fotométricos	29
2.3. Catálogo sintético de binarias eclipsantes	31
3. Búsqueda de binarias eclipsantes en el sondeo QUEST	39
3.1. El catálogo QUEST de estrellas variables	39
3.2. Identificación de estrellas variables	41
3.2.1. Índices de variabilidad de Stetson	41
3.3. Identificación de binarias eclipsantes	43
3.3.1. Cálculo de períodos	43
3.3.2. Catálogo de binarias eclipsantes	45
3.4. Caracterización de la completitud del catálogo QUEST de binarias eclipsantes	47
3.4.1. Completitud de la Identificación de estrellas variables	48

3.4.2. Análisis de la recuperación de períodos	56
3.4.3. Completitud de la identificación de binarias eclipsantes	57
3.4.4. Resumen del Análisis de la Completitud	61
3.5. Trabajos Futuros	66
A. Curvas de luz	69
B. Catálogo de binarias eclipsantes	117
Bibliografía	140

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

Índice de figuras

1.1. Clasificación de las binarias eclipsantes según el grado de transferencia de masa. Sistemas separados (superior), sistemas semi-separados (central), sistemas de contacto (inferior). Extraído de Kopal (1959)	5
1.2. Curvas de luz características de los distintos tipos de binarias eclipsantes. Los paneles de la izquierda muestran las curvas de luz de los distintos tipos de binarias eclipsantes (Algol, β Lyrae y W UMa de arriba hacia abajo). En los paneles de la derecha, se observa la configuración en el momento en que la estrella más débil eclipsa a la más brillante y su órbita correspondiente.	7
1.3. Distribución de Períodos (panel izquierdo) y amplitudes (panel derecho) del GCVS. Siguiendo la notación de GCVS se muestra la población total (negro), sistemas EA (rojo), sistemas EB (azul) y sistemas EW (verde)	8
2.1. Flujograma de ELLISA	17
2.2. Función Inicial de Masa de Salpeter (1955) (morado), de Chabrier (2003) (rojo) y la Función Inicial de Masa de Kroupa (2001) (azul) que no será considerada en este trabajo (tomado de Crosby et al. (2013))	20
2.3. Distribución de períodos (Duquennoy & Mayor, 1991) (panel izquierdo), distribución de separaciones (panel derecho).	21
2.4. Plantilla curva de luz tipo Algol (panel izquierdo), curva tipo β Lyrae (panel derecho), configuración del sistema señalando: brillo del sistema fuera del eclipse (magnitud en luz máxima) (a), brillo en el momento en que la estrella más masiva eclipsa a la menos masiva (eclipse primario) (b) y brillo en el momento en que la estrella menos masiva eclipsa a la más masiva (eclipse secundario) (c).	26
2.5. Representación esquemática de una binaria eclipsante. Relación inclinación-radio de las componentes.	29
2.6. Curvas de error vs magnitud correspondientes a los sistemas SDSS (panel superior), Johnson-Cousins (panel inferior), las barras de error representan la desviación estándar del error para cada magnitud	31

2.7. Curvas de luz simuladas usando los filtros de SDSS para sistemas: WUMa (panel superior izquierdo), β Lyrae (panel superior derecho), Algol (panel inferior)	32
2.8. Diagrama H-R de la población sintética de binarias eclipsantes	33
2.9. Distribución de inclinaciones binarias eclipsantes (negro), sistemas EA (rojo), sistemas EB+EW (azul).	34
2.10. Distribución de períodos de los sistemas binarios generados con BASSIC (negro) y de aquellos seleccionados con ELLISA (rojo).	35
2.11. Distribución de separaciones de Binarias Eclipsantes (negro), sistemas EA (rojo), sistemas EB+EW (azul).	35
2.12. Distribución de período de binarias eclipsantes: población sintética (panel izquierdo), ASAS (panel central), OGLE (panel derecho). En color negro se muestra la población total, los sistemas EA en rojo y los sistemas EB+EW en color azul.	36
2.13. Distribución de amplitudes de binarias eclipsantes: población sintética (panel izquierdo), ASAS (panel central), OGLE (panel derecho). En color negro se muestra la población total, los sistemas EA en rojo y los sistemas EB+EW en color azul.	37
2.14. Diagrama H-R de la población sintética en función de los radios estelares (panel izquierdo), Diagrama amplitud V versus radio (panel derecho).	37
3.1. Distribución espacial en coordenadas ecuatoriales del sondeo para los filtros V (panel izquierdo), R(panel central), I (panel derecho). La escala de colores en cada uno de los paneles indica el número promedio de observaciones por filtro por estrella (tomado de Mateu et al. 2011).	40
3.2. Distribución de magnitudes del catálogo de binarias eclipsantes de QUEST (negro), binarias eclipsantes tipo Algol (rojo), binarias eclipsantes tipo WUMa y β Lyrae (azul).	46
3.3. Distribución de amplitudes del catálogo de binarias eclipsantes de QUEST (negro), binarias eclipsantes tipo Algol (rojo), binarias eclipsantes tipo WUMa y β Lyrae (azul).	46
3.4. Distribución de períodos del catálogo de binarias eclipsantes de QUEST (negro), binarias eclipsantes tipo Algol (rojo), binarias eclipsantes tipo WUMa y β Lyrae (azul). En el panel de la izquierda se muestra el rango total de períodos explorado en una escala logarítmica. El panel de la derecha muestra esta distribución para períodos menores a 1d y en una escala lineal.	47
3.5. Distribución espacial en función del número de observaciones en los filtros V (izquierdo), R (central), I (derecho) de la biblioteca sintética	48

3.6. Índices L de Stetson versus amplitud, índice L_{VR} versus $AmpV$ (izquierda), índice L_{RI} versus $AmpR$ (medio), índice L_{RI} versus $AmpI$ (derecha).	49
3.7. Distribución de magnitudes en los distintos filtros (panel izquierdo), completitud versus magnitud en los distintos filtros (panel derecho).	51
3.8. Distribución de amplitudes en los distintos filtros (panel izquierdo), completitud versus amplitud en los distintos filtros (panel derecho).	53
3.9. Distribución de magnitudes en el filtro V para binarias EW con períodos y amplitudes características de estrellas RRc (panel izquierdo), completitud versus magnitud en el filtro V (panel derecho).	54
3.10. Distribución de períodos de binarias EB+EW (panel superior izquierdo), binarias EA (panel inferior izquierdo) , completitud versus periodo de binarias EB+EW (panel superior derecho), binarias EA (panel inferior derecho) . . .	55
3.11. Diagrama de período recuperado versus período real de estrellas sintéticas: Períodos recuperados correctamente (rojo), Alias de $\frac{1}{2}$ d y 2 d (amarillo), Alias de $\frac{1}{3}$ d y 3 d (azul), Alias de $\frac{1}{20}$ día y 20 día (magenta), armónicos (naranja y verde agua).	56
3.12. Distribución de magnitudes de la población de binarias eclipsantes (negro), de estrellas con amplitudes entre 0.2 y 0.5 magnitudes(naranja), de estrellas con amplitudes entre 0.5 y 1 magnitudes (rojo), de estrellas con amplitudes mayores a 1 magnitud (azul), en el panel derecho se muestra la completitud en función de la magnitud para los distintos rangos de amplitud.	59
3.13. Distribución de períodos menores a un día de la población de binarias eclipsantes (negro), de estrellas con amplitudes entre 0.2 y 0.5 magnitudes (naranja), de estrellas con amplitudes entre 0.5 y 1 magnitudes (rojo), de estrellas con amplitudes mayores a 1 magnitud (azul), en el panel derecho se muestra la completitud en función del período para los distintos rangos de amplitud . .	60
3.14. Distribución de períodos mayores a un día de la población de binarias eclipsantes (negro), de estrellas con amplitudes entre 0.2 y 0.5 magnitudes (naranja), de estrellas con amplitudes entre 0.5 y 1 magnitudes (rojo), de estrellas con amplitudes mayores a 1 magnitud (azul), en el panel derecho se muestra la completitud en función del período para los distintos rangos de amplitud . .	62
3.15. Distribución espacial en coordenadas ecuatoriales en función de la completitud de estrellas sintéticas.	62

www.bdigital.ula.ve

Índice de cuadros

2.1. Distribución de edades y metalicidades para las distintas poblaciones predefinidas en ELLISA (datos tomados de Robin et al. (2012))	19
2.2. Fracción de binarias en función del tipo espectral	20
3.1. Magnitudes de saturación (M_{sat}), completitud (M_{com}) y límite (M_{lim}) del sondeo en los filtros V , R e I y sus errores correspondientes (Mateu, 2011). . . .	40
3.2. Frecuencia de ocurrencia de los diferentes alias o períodos espurios presentes en la muestra sintética.	57

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 1

Introducción

En los últimos veinte años, el número de sondeos de estrellas variables ha ido en ascenso, como consecuencia de la proliferación de sondeos multi-época como ASAS, NSVS, MACHO, OGLE, QUEST, entre otros. Gracias a estos sondeos que han cubierto grandes áreas del cielo, se cuenta con muestras numerosas de estrellas variables. Una cantidad significativa de los objetos reportados en dichos sondeos, pertenecen a sistemas binarios.

En particular, las binarias eclipsantes constituyen una vía para estudiar los efectos de la transferencia de masas entre las componentes de un sistema binario. Por otra parte, este tipo de objetos, más específicamente las binarias de contacto, permitirán estudiar la estructura de distintas componentes galácticas, por ser estándares de luminosidad al igual que otras estrellas como las RR Lyrae en el Halo, Bulbo y Disco Grueso y las Cefeidas en cúmulos abiertos y en el Disco Delgado.

1.1. Sistemas binarios

Los sistemas binarios son aquellos constituidos por dos estrellas ligadas gravitacionalmente, orbitando alrededor de su centro común de masas. Estos son los más comunes de los sistemas estelares múltiples y son de gran importancia, ya que sondeos de la vecindad solar estiman que, dependiendo del tipo espectral, entre $\sim 30\%$ y 70% de las estrellas en la Vía Láctea se encuentran en sistemas binarios (Duquennoy & Mayor, 1991, Basri & Reiners, 2006, Mason et al., 1998).

Hacia 1781, el astrónomo checo Christian Mayer, propuso que aquellas estrellas observadas como dobles mediante el uso de telescopios, realmente formaban un sistema físico real. Catorce años después, John Michell mostró que la existencia de sistemas binarios tenía un fundamento estadístico, en base a la existencia de un gran número de sistemas dobles apa-

rentes. Fue para el año 1783 que se describió el primer sistema designado con el término de estrella binaria. Dicho sistema fue estudiado por John Goodricke, quien propuso que la variabilidad de esta estrella se debía a la presencia de una compañera que la eclipsaba. Partiendo de esto, William Herschel midió la separación de estas estrellas y descubrió que las estrellas, al igual que los planetas y cometas del Sistema Solar, también obedecían a la Ley de Gravitación Universal de Newton. Casi cien años después, en el año de 1889, Edward Pickering observó espectroscópicamente el sistema Osa Mayor, compuesto por las estrellas Mizar y Alcor y concluyó que Mizar, la estrella primaria del sistema realmente era un sistema binario. Hoy en día es conocido que Mizar-Alcor es un sistema múltiple compuesto por cinco estrellas.

1.1.1. Clasificación de los sistemas binarios

Según la técnica empleada en su identificación, los sistemas binarios se clasifican en los siguientes cuatro tipos: binarias visuales, astrométricas, espectroscópicas y eclipsantes (Percy, 2007).

Binarias visuales

Cuando las componentes de un sistema binario se encuentran a una separación suficiente, tal que pueden ser resueltas al ser observadas por un telescopio, son denominadas denominadas *binarias visuales*. Si el movimiento orbital que describen ambas estrellas posee un centro de masas común, el sistema puede identificarse plausiblemente como una binaria, en caso contrario, constituye una *doble óptica*, i.e. un par de estrellas cuya pequeña separación en el cielo es fortuita. A partir de estos sistemas, mediante la tercera ley de Kepler y usando la conservación de momento lineal, $a_1 M_1 = a_2 M_2$, es posible derivar las masas M_1 y M_2 de las componentes de la binaria. Desafortunadamente, sólo es posible medir en pocos casos los semiejes mayores a_1 y a_2 de cada estrella. En la mayor parte de los casos pueden obtenerse medidas de la órbita relativa y la correspondiente medida del semieje mayor $a = a_1 + a_2$. Debido a la limitada precisión en la medición de paralajes, y puesto que las medidas anteriormente relacionadas deben ser realizadas usando este método, debe restringirse a la vecindad solar, en un radio de unas pocas decenas de parsecs (Kallrath & Milone, 2009).

Binarias astrométricas

Si solo una de las componentes es visible, ya sea porque es mucho más débil o que se encuentra demasiado cerca de su compañera más brillante para ser resuelta por el instrumento, se puede inferir su condición de binaria detectando sus movimientos orbitales astrométricamente. *Sirius B* es un ejemplo de esto, en el cual la componente más débil del sistema se

encuentra oculta por el resplandor de la componente más brillante del par. En dicho sistema, denominado “La Estrella del Perro”, la componente más pequeña y débil llamada “El Cachorro”, fue observada por primera vez por Alvan Clark en 1862, pero no fue hasta 1844 que se reconoció a Sirius como estrella binaria basándose en la variabilidad de sus movimientos propios, descubierta por Friedrich Wilhelm Bessel en 1845 (Kallrath & Milone, 2009).

Binarias espectroscópicas

Aquellos sistemas en los cuales las componentes no pueden ser resueltas ni visual ni astrométricamente, se denominan *binarias espectroscópicas*. Estas se identifican en base al corrimiento Doppler de las líneas espectrales de una o ambas componentes del sistema binario. Para este tipo de sistemas es posible determinar el cociente de sus luminosidades a partir de la información que brindan sus espectros (Kallrath & Milone, 2009). Por otra parte, el cociente de masas solo se puede calcular en el caso de “doble línea”, para los cuales sea posible medir la variación de las velocidades radiales para cada componente. También es posible calcular $M_1 \sin i$ y $M_2 \sin i$, ya que para obtener medidas de las masas por separado es necesario conocer la inclinación i , que no puede obtenerse a partir de los espectros. Este valor sólo puede ser inferido para sistemas resueltos utilizando técnicas de de-proyección de la órbita (Kallrath & Milone, 2009); o puede suponerse cercano a 90° en los sistemas eclipsantes, para los que el plano de la órbita se observa casi de canto.

Binarias Eclipsantes

Las variables eclipsantes, son estrellas binarias en las que el observador ve la órbita aproximadamente de canto. Una estrella eclipsa periódicamente a la otra y en esos instantes el brillo total del par disminuye. El cambio en el brillo es un efecto geométrico: no existe necesariamente un cambio físico o intrínseco en las estrellas, salvo en aquellos sistemas en los que ambas estrellas se encuentran muy cercanas lo cual hace que se vean afectadas por efectos de marea modificando su estructura, dichos sistemas son llamados *sistemas de contacto* (Percy, 2007). Las binarias eclipsantes son, por regla, binarias espectroscópicas, en las que una ó ambas componentes pueden ser visibles en el espectro y cuyo movimiento orbital puede ser determinado mediante el corrimiento Doppler de las líneas espectrales (Hoffmeister et al., 1985).

Estos últimos constituyen el objeto de estudio de este trabajo y en la siguiente sección introduciremos su clasificación.

1.2. Clasificación de las Binarias Eclipsantes

Las binarias eclipsantes se clasifican a su vez en diferentes tipos, según dos criterios: el grado de transferencia de masa en el sistema o la forma de la curva de luz.

1.2.1. Clasificación según el grado de transferencia de masa

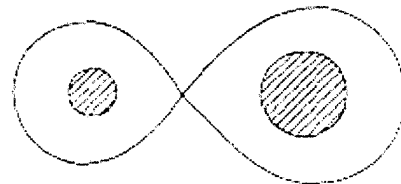
Según el grado de transferencia de masa, los sistemas binarios eclipsantes se clasifican en binarias separadas, semi-separadas o de contacto. En el caso de las *binarias separadas*, las estrellas no sufren perturbaciones importantes y se comportan y evolucionan como estrellas aisladas, esto debido a la gran separación entre ellas. En las *binarias semi-separadas y de contacto*, las estrellas se encuentran en órbitas más cerradas en las que las fuerzas de marea afectan a una o ambas estrellas, ocasionando una transferencia de masa mutua a través de una envoltura común, en el caso de las *binarias de contacto*; o una transferencia de masa unilateral, en el caso de las *binarias semi-separadas*.

La naturaleza unilateral o bilateral de la transferencia de masa, depende de si una o ambas estrellas llenan sus respectivos lóbulos de Roche, i.e. la superficie equipotencial cuyo valor es cero, fuera de la cual el material deja de estar ligado gravitacionalmente a cada estrella. La Figura 1.1 muestra esquemáticamente la configuración de los tres tipos de sistema binario: separadas (superior), semi-separadas (centro) y de contacto (inferior). La línea continua señala el locus del lóbulo de Roche, mientras las áreas sombreadas indican el volumen ocupado por cada estrella.

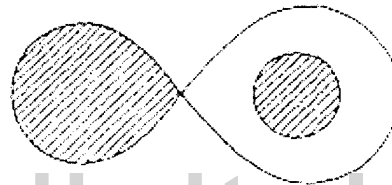
1.2.2. Clasificación según la forma de la curva de luz

Según la forma de la curva de luz, las binarias eclipsantes se clasifican, históricamente, en tres tipos: Algol, β Lyrae y W UMa. La Figura 1.2 muestra un ejemplo esquemático de una curva de luz característica de cada tipo (izquierda), así como la configuración orbital del sistema binario, visto de frente y de canto al plano orbital (centro y derecha).

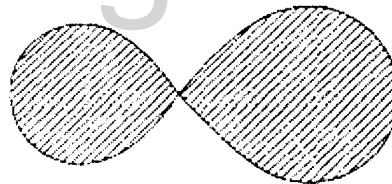
Los sistemas tipo *Algol* muestran curvas de luz con eclipses abruptos y prominentes, mientras que fuera de los eclipses el brillo se mantiene aproximadamente constante. Este tipo de sistemas se corresponden con los *sistemas separados* y son denotados bajo las siglas “EA” en el General Catalogue of Variable Stars (GCVS). En la Figura 1.2, se puede observar en el panel superior izquierdo, la curva de luz de un sistema tipo Algol. En el esquema referente a



detached (main-sequence) system



semi-detached system



contact system

Figura 1.1: Clasificación de las binarias eclipsantes según el grado de transferencia de masa. Sistemas separados (superior), sistemas semi-separados (central), sistemas de contacto (inferior). Extraído de Kopal (1959)

dicha curva de luz (derecha) observamos que la forma de ambas estrellas es aproximadamente esférica y, como hemos dicho, las estrellas se encuentran a una separación que permite que no sufran perturbaciones importantes. Notamos la forma casi constante de la curva de luz fuera de los eclipses, debido a que gracias a su distancia, en esta fase de la órbita observamos el brillo de ambas estrellas. Al observar los eclipses, vemos que el más profundo ocurre cuando la componente más masiva del par se encuentra eclipsando a la menos masiva, causando una disminución en el brillo del sistema; el eclipse secundario ocurre cuando la componente menos masiva del par eclipsa a la más masiva, restándole brillo. Los períodos de este tipo de sistema cubren un amplio rango, yendo desde fracciones de día hasta varios años, los tipos espectrales de sus componentes pueden encontrarse entre O6-M1 y sus amplitudes en la banda V son generalmente mayores a 1 magnitud, pudiendo alcanzar incluso 2 magnitudes (Sterken & Jaschek, 2005). La Figura 1.3 ilustra las distribuciones de período y amplitud en la banda V de binarias eclipsantes del GCVS, la distribución de sistemas clasificados como tipo Algol se indica en con la línea roja.

Los sistemas tipo β *Lyrae*, presentan curvas de luz suaves con mínimos muy diferentes entre sí (Fig. 1.1, panel central, izquierda). La forma de esta curva de luz se debe a que estos sistemas presentan componentes elipsoidales y a que dada la cercanía entre las dos componentes, no es posible observar precisamente cuándo comienza y termina cada eclipse. La forma elipsoidal es consecuencia de las perturbaciones que sufren estas estrellas por efectos de marea debidos a su cercanía, como se ilustra en el panel derecho en el esquema de la parte central de la Figura 1.2. Estos sistemas son asociados a los *sistemas semi-separados* y son denotados bajo los siglas “EB” en el GCVS. Sus períodos son generalmente mayores a 0.4 días y menores a unos pocos días, tal y como puede observarse en el panel izquierdo de la Figura 1.3, mostrando componentes con tipos espectrales entre B8 y G3, teniendo amplitudes entre 0.2 y 1 magnitudes en la banda V , como puede verse en el panel derecho de la Figura 1.3 (Sterken & Jaschek, 2005).

Los sistemas *W Ursa Majoris* (W UMa), presentan curvas de luz casi sinusoidales similares a las de los sistemas β *Lyrae*, con la diferencia de que en este caso las profundidades de los eclipses son casi iguales. Esto es debido a la similitud entre las masas de las componentes del sistema. Esto puede observarse en el panel inferior de la Figura 1.2. Los sistemas W UMa corresponden a los *sistemas de contacto* según la clasificación anterior y son denotados bajo los siglas “EW” en el GCVS. Los períodos de este tipo de binaria se encuentran en un rango entre 0.2 días y 1 día como se observa en el panel izquierdo de la Figura 1.3, teniendo en su mayoría tipos espectrales entre F0 y K4 y amplitudes de sus curvas de luz entre 0.1 y 1 magnitudes en la banda V como puede verse en el panel derecho de la Figura 1.3 (Sterken

& Jaschek, 2005).

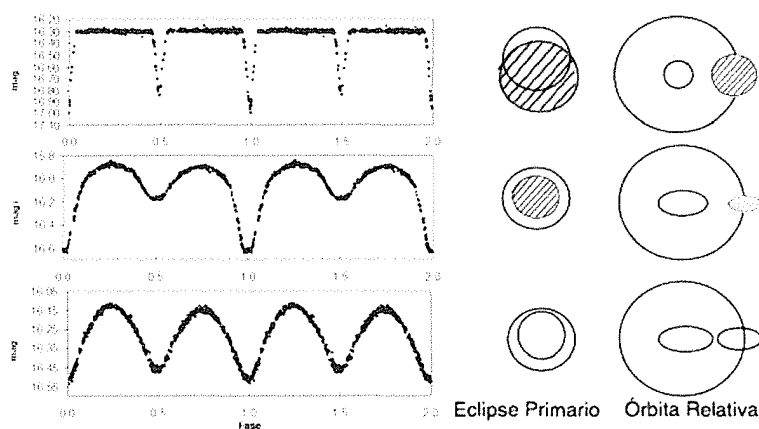


Figura 1.2: Curvas de luz características de los distintos tipos de binarias eclipsantes. Los paneles de la izquierda muestran las curvas de luz de los distintos tipos de binarias eclipsantes (Algol, β Lyrae y W UMa de arriba hacia abajo). En los paneles de la derecha, se observa la configuración en el momento en que la estrella más débil eclipsa a la más brillante y su órbita correspondiente.

1.3. Importancia astrofísica de las binarias eclipsantes

En general, las binarias eclipsantes son muy comunes por ser muy numerosas. La fracción de estrellas variables en un sondeo es típicamente de $\sim 10\%$ (e.g. Vivas et al., 2003), de las cuales un gran porcentaje lo constituyen las binarias eclipsantes. En el catálogo ASAS (All Sky Automated Survey, Pojmanski, 1997) del orden de 25% del total de estrellas variables son clasificadas como binarias eclipsantes, mientras que para períodos cortos $\lesssim 5$ días éstas constituyen la amplia mayoría siendo 75%. Por otra parte, al ser tan numerosas, este tipo de variable representa, a su vez, una importante fuente de contaminación en sondeos de otro tipo de estrellas variables, ya que es fácil confundirlas con variables de corto período como las RR Lyrae tipo c, δ Scuti, y SX Phoenicis, debido a la similitud que guardan sus curvas de luz (ver e.g. Mateu et al., 2012, Kinman & Brown, 2010).

Por otra parte, en base a la tercera ley de Kepler y empleando espectroscopía para la medición de velocidades radiales para ambas componentes de una binaria espectroscópica y eclipsante (no resuelta), es posible obtener las masas de ambas estrellas de manera directa. En el caso de contar únicamente con curvas de luz, más no con curvas de velocidad radial, puede calcularse el período, a partir del cual, usando la tercera ley de Kepler, puede obtenerse

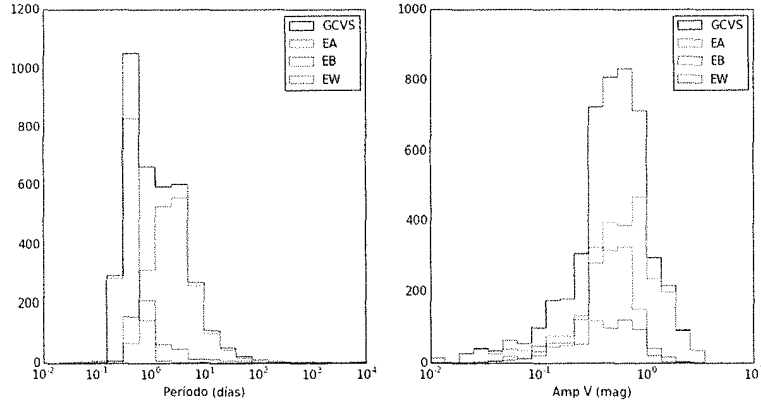


Figura 1.3: Distribución de Períodos (panel izquierdo) y amplitudes (panel derecho) del GCVS. Siguiendo la notación de GCVS se muestra la población total (negro), sistemas EA (rojo), sistemas EB (azul) y sistemas EW (verde)

la masa total del sistema. Si se cuenta con medidas de la curva de velocidad radial para cada estrella (binaria espectroscópica de doble línea), puede calcularse la masa para cada estrella por separado, ya que el factor $\sin i$, debido a la inclinación de la órbita, es aproximadamente igual a 1 (sección 1.1). En el caso de binarias resueltas astrométricamente, puede calcularse el cociente de las masas empleando una medida de la posición del centro de masas del sistema, lo cual usando la tercera ley de Kepler nos permite obtener las masas individuales de sus componentes. Estos métodos constituyen *la única manera directa de calcular masas estelares*, ya sea en sistemas cuyas componentes estén resueltas (binarias astrométricas) o cuyas componentes no lo estén (binarias espectroscópicas de doble línea), pues en el caso de estrellas simples solo es posible obtener las masas a través de teoría de evolución estelar, mediante interpolaciones de los modelos de estructura y evolución estelar en el diagrama H-R, o en el caso de estrellas variables pulsantes, a través de teoría de pulsaciones.

Como ejemplo ilustrativo de la importancia de las binarias eclipsantes en la medición directa de masas, podemos citar el problema de la discrepancia de masas predichas por diferentes teorías para variables Cefeidas Clásicas (Pietrzynski et al., 2010). En el trabajo de Pietrzynski et al. (2010), se considera una binaria espectroscópica eclipsante cuya componente principal es una Cefeida (LMC-OGLE-CEP227) y la componente secundaria es una estrella no variable que ya ha salido de la franja de inestabilidad. Este sistema descubierto por Pietrzynski et al. (2010) tiene la particularidad de ser el único sistema eclipsante y espectroscópico de doble línea hospedando una Cefeida conocido hasta la fecha. Para dicha Cefeida, las estimaciones de masa mediante teoría de pulsaciones y mediante modelos de evolución estelar presentan una discrepancia de $\sim 20\%$. La determinación directa de la masa de

esta estrella hecha por Pietrzynski et al. (2010) confirma la exactitud del valor predicho por la teoría de pulsaciones, contribuyendo a dilucidar la controversia existente entre diferentes predicciones de masas para Cefeidas clásicas y confirmando que la teoría de evolución estelar tiende a sobreestimar las masas para estos sistemas.

En el área de la estructura Galáctica, las binarias eclipsantes juegan un rol muy importante como estrellas variables. Al igual que otras estrellas como las RR Lyrae o Cefeidas (cuya variabilidad es intrínseca, debido a efectos termodinámicos que causan pulsaciones en la estrella), las binarias eclipsantes, específicamente, los sistemas de contacto o W UMa pueden ser utilizados como estándares de luminosidad gracias a que presentan una útil relación período-color-luminosidad (Rucinski, 1994). En virtud de esta propiedad, por ejemplo, las RR Lyrae brindan valiosa información de cinemática, distribución de metalicidades y perfiles de densidad de poblaciones como el Halo, Disco Grueso o Bulbo Galácticos (e.g. Vivas et al., 2003, Kunder & Chaboyer, 2009). Es importante notar que las binarias eclipsantes son varias veces más numerosas que las RR Lyrae (e.g. ~ 4 veces más numerosas en ASAS-3), lo cual desde el punto de vista estadístico resulta ventajoso. Por otra parte, a diferencia de las RR Lyrae, las binarias eclipsantes del tipo W UMa sirven como trazadores de todo tipo de población, mientras que las RR Lyrae sólo son trazadores en poblaciones viejas (~ 10 Ga).

Los sistemas binarios, en general, son objetos de suma importancia en el estudio de la formación estelar, así como en la estructura y evolución estelar. Como ejemplo, citamos el caso de la Paradoja de Algol, que consiste en un sistema binario conformado por una estrella de secuencia principal (en este caso la componente primaria, es decir la más masiva) y una subgigante (componente secundaria), tal que la subgigante está transfiriendo masa a la componente primaria. Esto resulta contradictorio a primera vista, pues en los sistemas binarios se creía que la transferencia de masa se realiza de la estrella más masiva a la menos masiva. Esta paradoja ha encontrado solución mediante el estudio de modelos de evolución de sistemas binarios, la cual consistió en la hipótesis de que la estrella subgigante ya ha evolucionado y que ésta era originalmente la componente más masiva, que ha perdido parte de su masa transfiriéndola durante su evolución a la componente de secuencia principal (Batten, 1973). Finalmente, la evolución de ciertos sistemas de contacto permiten explicar la existencia de estrellas en la Rama Horizontal Extrema y dar cuenta del origen de estrellas Rezagadas Azules (Blue Stragglers), como se demuestra en Hernández-Pérez & Bruzual (2013), ambos tipos de estrellas comúnmente observados en cúmulos globulares galácticos

1.4. Sondeos de variabilidad

Dada la importancia de las binarias eclipsantes en la astronomía y su abundancia, podemos encontrar binarias eclipsantes reportadas en los catálogos y sondeos de variabilidad más importantes como lo son:

- GCVS (General Catalogue of variable Stars) (Samus et al., 2009)
- OGLE (The Optical Gravitational Lensing Experiment) (Graczyk et al., 2011)
- MACHO (Massive Compact Halo Object) (Faccioli et al., 2007)
- ASAS (The All Sky Automated Survey) (Pojmanski, 1997)
- Catalina Real-Time Transient Survey (Drake et al., 2014)
- Catalogue of variable stars in open clusters (Zejda et al., 2012)

Además de éstos, existen catálogos especializados en binarias eclipsantes, como por ejemplo:

- Catalogue of field contact binary stars (Pribulla et al., 2003)
- Catalogue of contact binary stars (Csizmadia & Klagyivik, 2004)
- A Catalog of 1022 Bright Contact Binary Stars (Gettel et al., 2006)

El número de binarias eclipsantes es muy variable entre un sondeo y otro, por ejemplo, en el caso de MACHO se han reportado 611 binarias, mientras que en el caso de ASAS el número de binarias eclipsantes es 11076 divididas en 5384 sistemas de contacto, 2949 sistemas semi-separados y 2743 sistemas separados. En el caso del Catalina Real-Time Transient Survey, el número asciende mucho más, sobre todo en el caso de los sistemas de contacto con 30743 que representan el 49.93 % de todo el sondeo, sistemas separados 4683 (7.61 %) y sistemas semi-separados 279 (0.45 %). Por otra parte el GCVS cuenta con 4927 binarias eclipsantes, de las cuales 2669 (54 %) son sistemas separados, 726 (15 %) son sistemas semi-separados y 1532 (31 %) son sistemas de contacto. Puede observarse la predominancia de sistemas de contacto en los distintos sondeos.

Para la realización de este trabajo se cuenta con los datos del sondeo a baja latitud galáctica de Mateu et al. (2012), cuya cobertura total es de 476 grados cuadrados y cuenta con 6.513.705 objetos en un rango de latitud galáctica $-30^\circ \leq b \leq +25^\circ$, con una longitud galáctica $190^\circ \leq l \leq 230^\circ$, con observaciones multiépoca en los filtros V, R e I, obtenidas con

la cámara QUEST-I del telescopio Schmidt del Observatorio Astronómico Nacional entre los años 1999 y 2008. Las magnitudes de completitud del sondeo son, para los filtros V y R, de 18.5 mag mientras que para el filtro I es de 18.0 mag (Mateu et al., 2012).

En este sondeo se realizará una búsqueda exhaustiva de binarias eclipsantes, en particular del tipo W UMa que, gracias a sus cortos períodos, pueden ser identificadas en estos datos y que son de particular interés por ser estándares de luminosidad. Se ha elegido este conjunto de datos debido a que los autores de este trabajo reportan la existencia de un gran número de binarias eclipsantes, pero no realizaron el catálogo con esos objetos debido a que su objetivo era la búsqueda de estrellas RR Lyrae exclusivamente.

Finalmente, el catálogo de binarias de contacto que resulte como producto final de este trabajo, deberá contar con una caracterización detallada de su completitud, que permita su futura utilización en el estudio de perfiles de densidad del Halo y Discos Grueso y Delgado de la Vía Láctea. Hasta la fecha, únicamente Gettel et al. (2006) ofrece un estimado de la completitud de su sondeo. Estos autores utilizan el catálogo de binarias eclipsantes del Northern Sky Variability Survey (Wozniak et al., 2004) como catálogo de referencia para estimar el porcentaje de estrellas recuperadas, obteniendo una completitud de 34%. Sin embargo, este cálculo se basa en un catálogo observado que, a su vez, sufre de sesgos, por lo que la medida obtenida por Gettel et al. (2006) constituye una cota superior de la completitud. Es por esto que en el presente trabajo se realizará una caracterización de la completitud a partir de un catálogo sintético que permita obtener una medida más robusta.

1.5. Caracterización de la completitud del sondeo

En el trabajo observacional, es de vital importancia contar con medidas precisas de completitud, i.e. la fracción del número total verdadero de estrellas que se logran identificar en el sondeo que se esté realizando. Debido a las limitaciones del muestreo temporal de cualquier sondeo, se convierte en una tarea complicada la identificación de los períodos correctos para objetos variables con períodos muy cortos (menores a 2 horas) o muy largos (semanas o meses), esto incide directamente en la completitud. Así mismo ocurre, en el caso de sistemas con amplitudes muy pequeñas, los errores fotométricos.

Para obtener una medida de la completitud, es necesario crear un punto de comparación, ya que no podemos determinar qué porcentaje de sistemas estamos clasificando si no conocemos la cantidad total de sistemas existentes. Para tal fin, el procedimiento estándar consiste en generar una población sintética o artificial con características similares a las de la

población sobre la que se va a realizar el estudio (e.g. Vivas et al., 2003, Mateu et al., 2012, Miceli et al., 2008). Para dicha población se simularán las curvas de luz correspondientes a cada sistema binario. Sobre este catálogo sintético se utilizarán los algoritmos de identificación de estrellas variables, que serán posteriormente usados sobre los datos reales del sondeo de variabilidad, con el fin de calcular el porcentaje de sistemas recuperados. De lo anterior, tenemos entonces que la medida de la completitud viene dada en función de la población sintética generada, lo cual significa que la calidad de esa medida dependerá de cuán representativa sea la muestra sintética de las propiedades de la población que se está estudiando.

En la literatura se encuentra disponible un gran número de herramientas computacionales para la simulación de las curvas de luz de sistemas binarios como por ejemplo: los códigos de Wilson- Devinney Code (Wilson & Devinney, 1971), NightFall (Wichmann, 1998), EBOP (Eclipsing Binary Orbit Program) (Etzel, 1981). En general, estos códigos se basan en considerar parámetros físicos como temperaturas, tamaños y formas relativas de las estrellas, distribución de temperaturas de las componentes del sistema, irradiación mutua de ambas estrellas, entre otros. Sin embargo, estos códigos se enfocan en simular la curva de luz (y velocidad radial) de un sistema binario individual en mucho detalle, tomando en cuenta efectos como el oscurecimiento del limbo, manchas superficiales en las componentes, rotación asíncrona originada por los efectos de marea, presencia de una tercera estrella asociada al sistema, etc.

A diferencia de las herramientas computacionales anteriormente nombradas nuestro objetivo es desarrollar una herramienta computacional que permita simular curvas de luz para toda una población de binarias eclipsantes. Esto permitirá contar con una muestra numerosa de curvas de luz con distribuciones de período, amplitudes, colores, etc. representativos de las poblaciones estelares galácticas sondeadas, lo que permitirá una exhaustiva caracterización de los límites de completitud de las técnicas empleadas en el sondeo. Como se describió en la Sección 1.2.1, en las binarias eclipsantes pueden encontrarse estrellas en cualquier estadio evolutivo, con lo cual al buscar producir una población sintética de sistemas binarios es necesario simular de manera realista la distribución de tipos estelares que pueden ocurrir en la población, sus parámetros orbitales, así como considerar el efecto de la binariedad en la evolución del sistema. El simulador que desarrollaremos como parte de este trabajo hará uso del código BASSIC (BinAry Stars SynthesIs Code) de Hernández-Pérez & Bruzual (2013) para realizar la síntesis una población estelar con sistemas binarios, y simulará para estos sistemas las curvas de luz correspondientes, incluyendo la simulación de límites de observación, errores fotométricos y muestreo temporal arbitrarios, en diferentes bandas fotométricas. Dicho simulador operará de manera general produciendo catálogos de curvas de luz de bina-

rias eclipsantes para un sondeo cualquiera, según los parámetros definidos por el usuario. En este caso en particular, el simulador será usado para caracterizar la completitud del sondeo QUEST de estrellas variables.

1.6. Objetivos del presente trabajo

Teniendo en cuenta este escenario, el objetivo general del presente trabajo consiste en realizar una búsqueda de binarias eclipsantes usando datos del catálogo QUEST de estrellas variables a baja latitud galáctica de Mateu et al. (2012), así como proveer una caracterización exhaustiva de su completitud.

Siendo este el objetivo general, los objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- Realizar una búsqueda de binarias eclipsantes utilizando los datos del catálogo QUEST de estrellas variables a baja latitud galáctica de Mateu et al. (2012)
- Diseñar e implementar una herramienta computacional que permita simular curvas de luz para una población de binarias eclipsantes.
- Utilizar dicha herramienta para generar un catálogo sintético de series temporales para una población de binarias eclipsantes con propiedades fotométricas y un muestreo temporal representativos del sondeo QUEST
- Caracterizar la completitud de la búsqueda mediante la aplicación del método utilizado para la identificación de binarias eclipsantes, sobre los datos del catálogo sintético de curvas de luz

1.7. Estructura de la tesis

La estructura de este trabajo es la siguiente: En el Capítulo 2 se describe la estructura de la herramienta para simular las bibliotecas sintéticas de curvas de luz de binarias eclipsantes y se describen las características de una biblioteca simulada particular. En el Capítulo 3 se describe el catálogo QUEST sobre el que se realizó la búsqueda de binarias eclipsantes y el catálogo resultante de binarias eclipsantes. Se explican los métodos de identificación de estrellas variables y búsqueda de binarias eclipsantes, y la caracterización de la completitud de estos métodos en función de los distintos parámetros físicos. En el Apéndice A se muestran las curvas de luz de las binarias eclipsantes clasificadas en este trabajo mientras que en el Apéndice B, se muestran las tablas con los datos del catálogo de binarias eclipsante resultante de este trabajo.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 2

Simulación de Curvas de Luz de Binarias Eclipsantes

Uno de los objetivos principales de nuestro trabajo consiste en caracterizar la completitud de la búsqueda de binarias eclipsantes en los datos del sondeo QUEST de variabilidad, que describiremos en el Capítulo 3. Para obtener una medida de la completitud del catálogo, es necesario determinar la fracción de estrellas identificadas correctamente como binarias eclipsantes, para lo que es necesario conocer el número total de estrellas sobre las que se realiza la búsqueda que, a priori, es desconocido. Por dicha razón, es necesario simular una población de binarias eclipsantes cuyas características sean representativas del sondeo en estudio.

El objetivo del simulador consiste entonces en generar una biblioteca de curvas de luz sintéticas para una población de binarias eclipsantes, simulando para un conjunto de filtros el muestreo temporal y errores fotométricos característicos del sondeo que se quiera simular. De esta manera es posible generar una biblioteca sintética que constituya una realización simulada de la manera en que una población de binarias eclipsantes sería observada con un instrumento y un muestreo temporal cualesquiera. En este capítulo se describirá el simulador de curvas de luz de binarias eclipsantes desarrollado en este trabajo.

2.1. Simulador de curvas de luz de binarias eclipsantes

En el presente trabajo hemos diseñado y desarrollado el código ELLISA (Eclipsing binary Light curve Library Simulation Algorithm), implementado en lenguaje Python, para la simulación de curvas de luz de una población de binarias eclipsantes. La estructura de simulador ELLISA se ilustra de manera resumida en el diagrama de flujo de la Figura 1.1, cuyo funcionamiento será descrito en detalle en las secciones 2.1 y 2.2. Los cuadrados deno-

tan las entradas suministradas por el usuario; los círculos, diferentes rutinas empleadas por ELLISA; y los rombos, las salidas producidas por el programa. El usuario indica al programa ELLISA la edad, metalicidad y número de sistemas binarios a simular. Éstos datos son utilizados por una rutina que actúa como manejador (wrapper) del programa BASSIC de Hernández-Pérez & Bruzual (2013), que simula una población sintética de sistemas binarios y calcula su evolución estelar, devolviendo los parámetros físicos, magnitudes y colores de la población (Sec. 2.2.1). A partir de estos parámetros físicos se identifica el tipo de sistema eclipsante y se calculan los parámetros de la curva de luz, i.e. amplitud de los eclipses, colores, magnitud en luz máxima, etc. A continuación se simula la observación de la curva de luz sintética en las épocas específicas dadas en el muestreo temporal de entrada, y se simulan errores fotométricos y límites de observación en base a las características del sondeo, suministradas también como datos de entrada por el usuario. El simulador finalmente devuelve la serie temporal en cada filtro conteniendo las magnitudes, errores fotométricos y fechas de observación de cada sistema binario, en cada uno de los filtros seleccionados por el usuario.

Esta constituye una descripción global y resumida de la operación del simulador ELLISA. A continuación se describirá en detalle cada uno de los pasos seguidos por el simulador.

2.2. Cálculo de parámetros de la curva de luz

A grandes rasgos, el simulador está constituido por los siguientes tres bloques: obtención de parámetros físicos mediante BASSIC (Hernández-Pérez & Bruzual, 2013), cálculo de parámetros de la curva de luz, muestreo temporal y errores fotométricos. A continuación se describe en detalle cada bloque.

2.2.1. Obtención de parámetros físicos mediante BASSIC

La herramienta BASSIC (Hernández-Pérez & Bruzual, 2013) permite generar una población estelar simple (PES), constituida por estrellas aisladas y sistemas binarios. Para la población binaria se caracteriza la distribución de masa de ambas componentes del sistema binario, la fracción de binarias, períodos y excentricidades de las órbitas. En las siguientes subsecciones se procederá a describir las distribuciones que siguen estos parámetros dentro de BASSIC y se mostrará el proceso que usa este código para construir las trayectorias evolutivas de los sistemas binarios simulados.

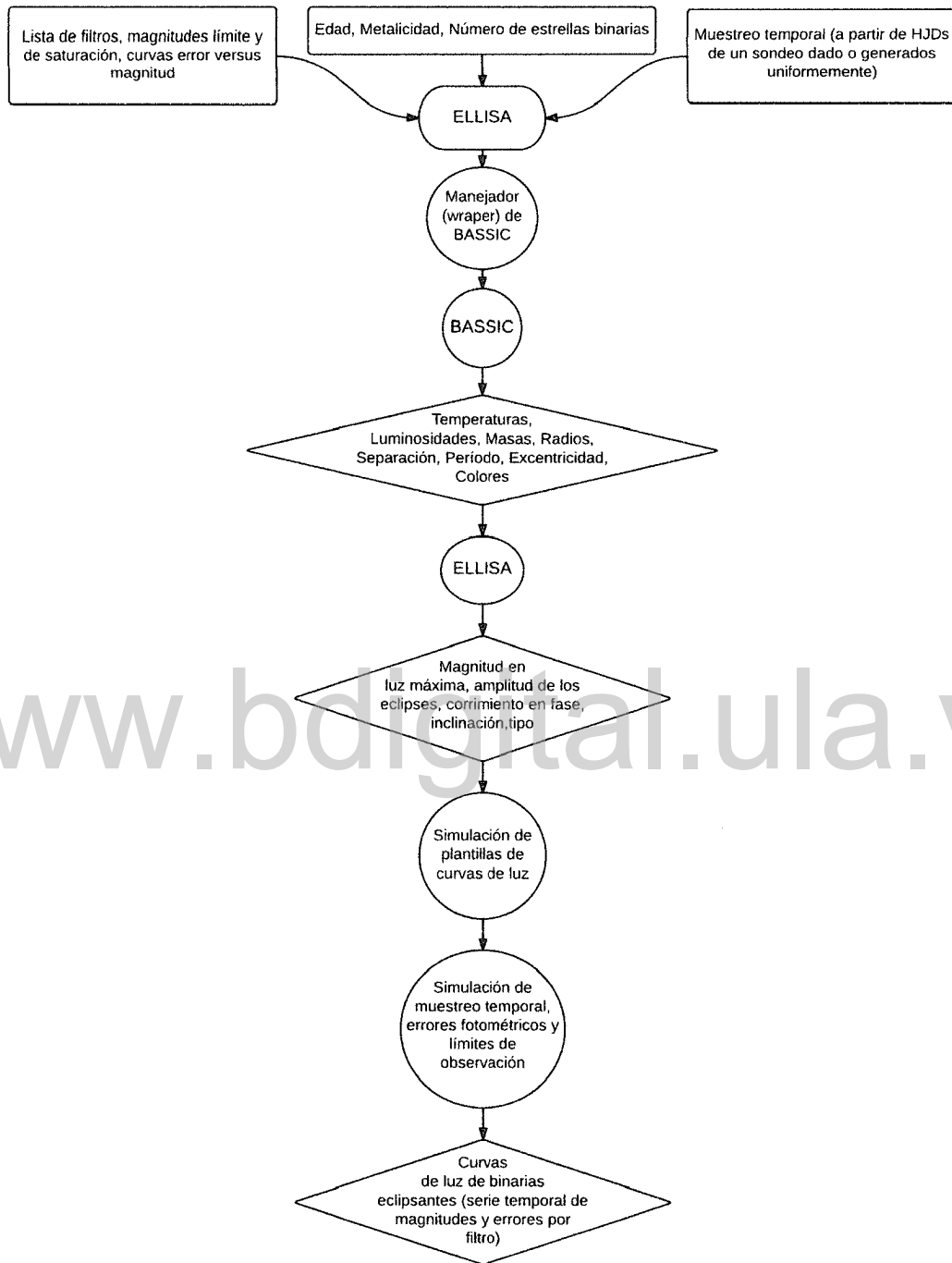


Figura 2.1: Flujograma de ELLISA

Selección de la Población Estelar

El programa BASSIC (Hernández-Pérez & Bruzual, 2013) está diseñado para simular la evolución de la población de sistemas binarios (y estrellas aisladas) de una PES, i.e. aquella en la que todas las estrellas tienen una única edad y metalicidad¹. En este trabajo hemos desarrollado una rutina dentro de ELLISA, que actúa como manejador o wrapper de BASSIC y permite simular poblaciones estelares simples y compuestas predefinidas. En su versión actual, ELLISA permite al usuario elegir entre las siguientes poblaciones:

1. Población tipo Halo
2. Población tipo Bulbo
3. Población tipo Disco Grueso
4. Población tipos Disco Delgado

Las edades y metalicidades supuestas para las poblaciones predefinidas fueron elegidas siguiendo a Robin et al. (2012), y se resumen en el Cuadro 2.1. Como puede verse en esta tabla, las poblaciones tipo Halo, Bulbo y Disco Grueso se simulan como PESs, mientras el Disco Delgado se simula como una población compuesta por 7 PESs, con edades entre 100 Maños y 10 Gaños y metalicidades desde -0.12 dex y 0.01 dex. En este caso, las 7 PESs se combinan en las proporciones iguales para cada bin de edad, para reproducir de manera aproximada la tasa de formación estelar del Disco como función de la edad, siguiendo también la proporción indicada por Robin et al. (2012).

Para la versión pública del simulador esperamos incluir la opción de seleccionar una PES de edad y metalicidad cualquiera, así como una población estelar compuesta con una tasa uniforme de formación estelar entre límites de edad suministrados por el usuario.

Distribución de masa de ambas componentes del sistema binario

La distribución de masas de las estrellas primarias (M_1) y secundarias (M_2) de los sistemas binarios simulados por BASSIC obedecen a la función inicial de masas de Chabrier (2003):

$$\xi(\log m) \propto \begin{cases} \exp \left[-\frac{(\log m - \log m_c)^2}{2\sigma^2} \right] & \text{si } m \leq 1M_{\odot} \\ m^{-1.3} & \text{si } m > 1M_{\odot} \end{cases} \quad (2.1)$$

¹En astronomía se denominan metales a todos los elementos más pesados que el He.

Cuadro 2.1: Distribución de edades y metalicidades para las distintas poblaciones predefinidas en ELLISA (datos tomados de Robin et al. (2012))

Población	Edad (Años)	$\langle[\text{Fe}/\text{H}]\rangle$
Disco	0-0.15	0.01 ± 0.010
	0.15-1	0.00 ± 0.11
	1-2	-0.02 ± 0.12
	2-3	-0.03 ± 0.125
	3-5	-0.05 ± 0.135
	5-7	-0.09 ± 0.16
	7-10	-0.12 ± 0.18
Disco grueso	11	-0.50 ± 0.30
Halo	14	-1.5 ± 0.50
Bulbo	10	0.00 ± 0.20

donde $\log m_c$ y $\sigma^2 = \langle (\log m - \langle \log m \rangle)^2 \rangle$ denotan la media de la masas y la varianza de $\log m$ respectivamente (Chabrier, 2003).

La Función Inicial de Masa (IMF) de Chabrier (Chabrier, 2003) se estima que representa de manera más apropiada la fracción de estrellas de baja masa, mientras que la IMF de Salpeter (Salpeter, 1955), que es una ley de potencias pura ($\xi(\log m) \propto m^{-1.35}$), aunque funciona muy bien en el régimen de alta masa, tiende a sobreestimar la fracción de estrellas de baja masa (Crosby et al., 2013) tal y como puede observarse en la Figura 2.2.

Fracción de binarias

Partiendo de la distribución de masas de la componente primaria, se describe la fracción de binarias en función del tipo espectral. Dicha fracción es caracterizada y usada en Hernández-Pérez & Bruzual (2013) siguiendo la recopilación hecha por Lada (2006), la cual se presenta en el Cuadro 2.2. El porcentaje de estrellas binarias es mayor para estrellas tipo O y B, i.e. estrellas masivas, para las cuales es de 72% y disminuye para estrellas menos masivas llegando hasta 26% para estrellas enanas M. Es importante acotar que estas cifras corresponden a una población a edad cero, es decir previa a la evolución. En este estadio evolutivo el porcentaje de estrellas binarias corresponde a un 35.2% de la población, mientras que el 64.8% restante son estrellas aisladas. Por otra parte, suponiendo que dicha población evoluciona siguiendo las trayectorias evolutivas que se describirán más adelante, a una edad de 10 Años el porcentaje de binarias se reduce a un 23.5%

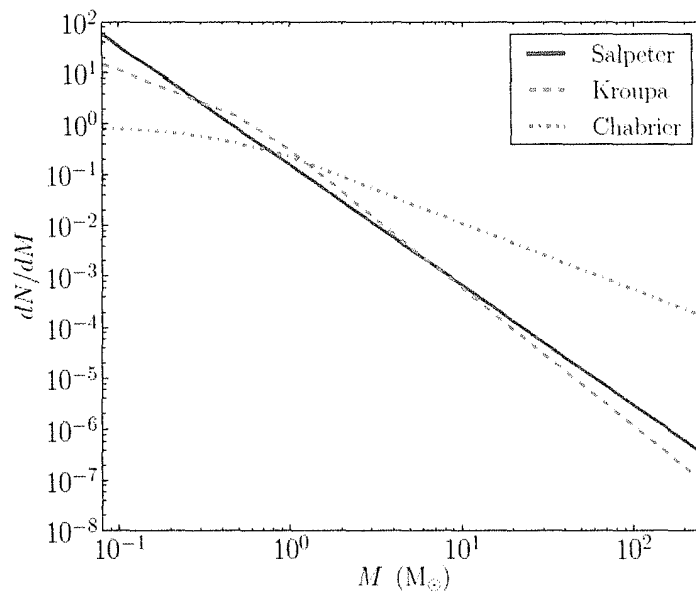


Figura 2.2: Función Inicial de Masa de Salpeter (1955) (morado), de Chabrier (2003) (rojo) y la Función Inicial de Masa de Kroupa (2001) (azul) que no será considerada en este trabajo (tomado de Crosby et al. (2013))

Cuadro 2.2: Fracción de binarias en función del tipo espectral

Tipo espectral	Fracción de binarias	Referencia
O	0.72	Mason et al. 1998
O-B	0.65	Preibisch et al. 1999
B-A	0.62 ± 0.2	Patience et al. 2002
G-K	0.58 ± 0.1	Duquennoy & Mayor 1991
M	0.49 ± 0.09	Fischer & Marcy 1992
M tardías	0.26 ± 0.1	Basri & Reiners 2006

Períodos Orbitales

Los períodos orbitales siguen una distribución Gaussiana en el logaritmo del período ($\log P$) que se muestra en el panel izquierdo de la Figura 2.3, obtenida por Duquennoy & Mayor (1991) a partir de un estudio espectroscópico y fotométrico realizado sobre una muestra de 164 componentes primarias de sistemas binarios. La forma de esta distribución es la siguiente

$$f(\log P) = C \exp \left[-\frac{(\log P - \overline{\log P})^2}{2\sigma_{\log P}^2} \right],$$

donde P es el período orbital en días, $\overline{\log P} = 4,4$ días y $\sigma_{\log P} = 2,3$ días.

En el panel derecho de la Figura 2.3 se muestra la distribución de separaciones en unidades de radios solares, las cuales se calculan a partir de la tercera ley de Kepler que se muestra en la siguiente expresión

$$\frac{GM}{a^3} = \left(\frac{2\pi}{P} \right)^2 \quad (2.2)$$

donde $M = M_1 + M_2$, con M_1 y M_2 las componentes primaria y secundaria del sistema respectivamente

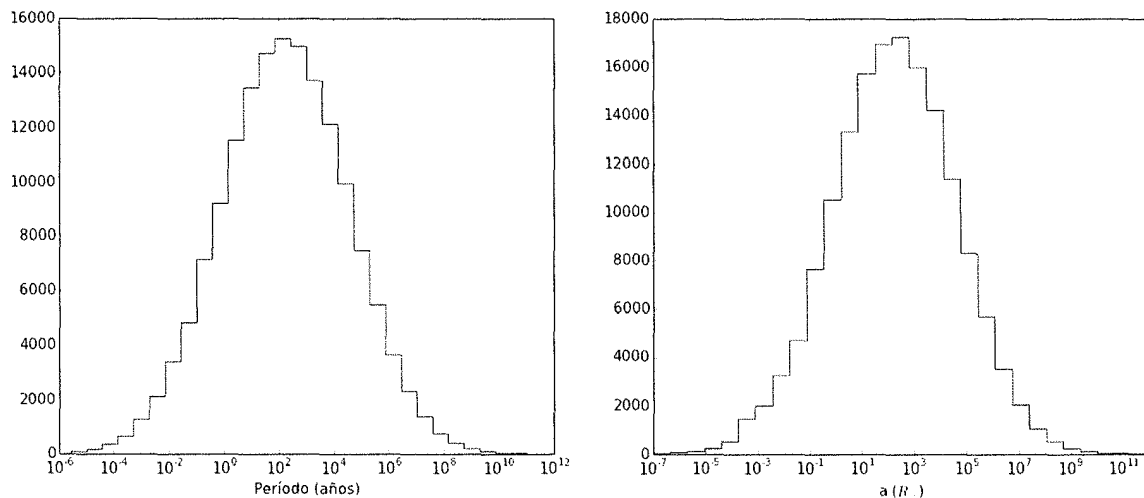


Figura 2.3: Distribución de períodos (Duquennoy & Mayor, 1991) (panel izquierdo), distribución de separaciones (panel derecho).

Excentricidades

El modelo original de Hernández-Pérez & Bruzual (2013) supone una distribución uniforme de la excentricidad orbital de los sistemas binarios. Sin embargo, debido a los efectos de marea y eventos de transferencia de masa, las órbitas tienden a circularizarse, por lo que típicamente, para sistemas con períodos menores a 10 días, las órbitas son circulares en su mayoría (Eggleton, 2006).

Con el fin de tomar en cuenta este efecto, en este trabajo hemos introducido una modificación y hemos simulado la excentricidad con la siguiente distribución $f(e)$.

$$f(e) = \begin{cases} 1, & \text{con } 0 \leq e < 1 \text{ para } P > 10 \\ e = 0 & \text{para } P \leq 10 \end{cases} \quad (2.3)$$

Es decir, suponemos una distribución uniforme para sistemas con períodos mayores a 10 días y excentricidad cero para sistemas con períodos menores a este límite.

Evolución de los pares binarios

Una vez generados los parámetros orbitales (período, separación y excentricidad de la órbita) y las masas de cada estrella de la población (dada por la IMF, Sección 2.1.1), Hernández-Pérez & Bruzual (2013) hacen uso de las trayectorias evolutivas de Hurley et al. (2002) para seguir la evolución de cada sistema binario. Este código toma en cuenta la evolución de cada estrella y calcula en cada fase de su evolución el estado de transferencia de masa de cada estrella a partir de los radios, masas y características de la órbita. Las fases evolutivas consideradas van desde la edad cero de la secuencia principal (ZAMS), hasta estados remanentes (agujero negro, estrella de neutrones o enana blanca) para estrellas de masas iniciales cuyos rangos están comprendidos entre 0.1 a 100 M_{\odot} y con metalicidades comprendidas entre $Z=0.0004$ hasta $Z=0.01^2$. Adicionalmente, para cubrir aspectos de la evolución de sistemas de enanas blancas de He que colisionan, que son considerados como sistemas que se destruyen según Hurley et al. (2002), Hernández-Pérez & Bruzual (2013) emplea el modelo propuesto por Han et al. (2002) que supone la formación de estrellas EHB bajo este escenario. Las isócronas de este modelo son construidas a partir de las trayectorias evolutivas tal y como se indica en Hernández-Pérez & Bruzual (2013).

El código de trayectorias evolutivas de Hurley permite calcular la evolución de un sistema binario a cualquier edad, lo que permite determinar qué temperatura y luminosidad tiene cada estrella. Sabiendo esto, mediante el uso de la biblioteca espectral BaSeL 3.1

²Z denota la abundancia de elementos más pesados que el He, relativa al H

(Westera et al., 2002), es posible asignar a cada sistema su espectro con lo que posteriormente pueden calcularse las propiedades espectrofotométricas, más específicamente magnitudes y colores, los cuales son de especial interés para el desarrollo de este trabajo. Los sistemas fotométricos disponibles actualmente son Johnson-Cousins (UBVRIJHK) y HST (F814W,F775W,F625W,F606W,F555W,F445W,F435W,F410W,F330W,F250W,F220W).

2.2.2. Cálculo de parámetros de las curvas de luz

A partir de los parámetros físicos, se procede a determinar las características de la curva de luz correspondiente a cada sistema de la población simulada (amplitudes de los eclipses primario y secundario, magnitud en luz máxima). Como primer paso es de vital importancia conocer la forma de la curva de luz, lo que depende directamente del estado de transferencia de masa de cada sistema (ver Sec. 1.2.1) como se verá a continuación.

Forma de la curva de luz

La forma de la curva de luz depende críticamente del tipo sistema binario, como se ilustró en la Sección 1.2.2. Los sistemas binarios en los que ocurre transferencia de masa entre una o ambas componentes, tienen curvas de luz suaves y aproximadamente sinusoidales en el caso de transferencia bilateral, en el caso unilateral la profundidad de ambos eclipses difiere significativamente, mientras que los sistemas separados tienen curvas de luz aproximadamente constantes fuera de los eclipses y un comportamiento abrupto dentro de los eclipses (Fig. 1.2). Para decidir qué forma debe tener la curva de luz, calculamos el radio de los lóbulos de Roche de cada componente del sistema binario y comparamos estos valores con sus respectivos radios.

A grandes rasgos, existen en la literatura dos métodos para determinar el grado de transferencia de masa de un sistema, ambos métodos planteados en Eggleton (2006). El primer método realiza una comparación entre el radio de la estrella y el radio efectivo de su lóbulo de Roche, descrito por la siguiente expresión:

$$\frac{R_L}{a} \equiv x_L(q) \approx \frac{0,49q^{\frac{2}{3}}}{0,6q^{\frac{2}{3}} + \ln(1 + q^{\frac{1}{3}})}, 0 < q < \infty, \quad (2.4)$$

donde R_L es el radio efectivo del lóbulo de Roche, a el semieje mayor de la órbita y q es el cociente de masas del sistema.

La ecuación 2.4 puede ser reescrita de la siguiente manera:

$$\frac{R_L}{a} \equiv x_L(q) \approx \frac{0,44q^{0,33}}{(1+q)^{0,2}}, 0,1 \lesssim q \lesssim 10. \quad (2.5)$$

El segundo método, comprende el cálculo del menor período que puede poseer un sistema de cierto cociente de masas tal que existan eventos de transferencia de masa sin desbordar su lóbulo de Roche, esto es el *período crítico*, que será denotado en lo sucesivo por P_{cr} . Considerando la ecuación 2.4 y la densidad media de la estrella $\bar{\rho}$ y recordando que para la estrella primaria $M_1 = \frac{4\pi R_L^3 \bar{\rho}}{3}$, se obtiene la expresión del Período Crítico:

$$P_{cr} \sim 0,35 \sqrt{\frac{R^3}{M_1}} \left(\frac{2}{1+q} \right)^{0,2}, \quad (2.6)$$

donde R denota el radio de la componente primaria del sistema.

Para efectos de este trabajo, hemos decidido seleccionar el segundo método, puesto que el primer método aquí mostrado tiende a subestimar la fracción de estrellas que se encuentran bajo efectos de transferencia de masa, ya que tiende a sobreestimar el volumen de los lóbulos de Roche considerando como estrellas en ese estado aquellas que han desbordado su lóbulo de Roche.

Mediante este criterio, separaremos en dos grandes grupos a los sistemas que han sido generados por BASSIC, sistemas en los cuales una o ambas estrellas se encuentran transfiriendo masa a su compañera, que en este caso corresponden a curvas de luz del tipo WUMa o β Lyrae, que llamaremos EB+EW siguiendo la notación del GCVS y un segundo grupo conformado por sistemas cuya separación no hace posible la transferencia de masa, que denotaremos EA en adelante. Los sistemas pertenecientes al primer grupo deben satisfacer la condición de que su período orbital sea menor o igual al período crítico del sistema.

Sabiendo qué tipo de curva de luz posee cada sistema, es necesario crear una plantilla tanto para los sistemas en los que hay transferencia de masa (EB+EW) como para los sistemas en los que no (EA). Para el primer caso, se consideró una serie de Fourier con coeficientes truncados en $n=6$ para representar el comportamiento de la curva de luz siguiendo a Rucinski (1993). Estos coeficientes están dados en la Tablas 1, 2 y 3 de Rucinski (1993), como función de la inclinación de la órbita y el cociente de masas del sistema. El rango de inclinaciones está comprendido entre 30° a 90° y el cociente de masas entre 0.050 y 1. El trabajo de Rucinski (1993) es válido para sistemas WUMa, pero en este trabajo hemos extendido esta parametrización para sistemas β Lyrae tomando en consideración la variación notable entre las profundidades del eclipse primario y secundario, asignando las amplitudes correspondien-

tes a cada eclipse de manera empírica.

A partir de los coeficientes de Fourier a_2 , a_4 y a_6 , se obtiene una parametrización de la curva de luz:

$$l(\phi) \approx a_0 + a_2 \cos(2\pi\phi) + a_4 \cos(4\pi\phi) + a_6 \cos(6\pi\phi), \quad (2.7)$$

con $a_0 = 1 + a_2 - a_4 + a_6$ y ϕ la fase de la curva de luz.

La parametrización aquí descrita origina curvas como la que se muestra en el panel superior derecho de la Figura 2.4, en la que se señalan el brillo del sistema fuera del eclipse (magnitud en luz máxima) (a), el brillo en el momento en que la estrella más masiva eclipsa a la menos masiva (eclipse primario) (b) y el brillo en el momento en que la estrella menos masiva eclipsa a la más masiva (eclipse secundario) (c). En el caso de esta figura se muestra la configuración para un sistema β Lyrae, en el cual el cociente de la profundidad de los eclipses es menor a 0.5, mientras que en el caso de los sistemas WUMa, el cociente varía entre 0.5 y 1.

Para el caso de los sistemas tipo Algol, hemos propuesto una plantilla construida a partir de una función por partes, debido a la particular forma de las curvas de luz de estos sistemas. La parametrización propuesta se muestra en la siguiente expresión:

$$l(\phi) = \begin{cases} l_{pri}(\phi) & si & |\phi - \phi_1| \leq \epsilon \\ l_{sec}(\phi) & si & |\phi - \phi_2| \leq \epsilon \\ l_{mluz}(\phi) & si & \text{en otro caso} \end{cases}, \quad (2.8)$$

siendo ϕ la fase de la curva de luz, ϕ_1 y ϕ_2 las fases de los eclipses primario y secundario respectivamente, ϵ la duración de estos, $l_{mluz}(\phi)$ el valor constante de la magnitud en luz máxima y $l_{pri}(\phi)$ y $l_{sec}(\phi)$ las parametrizaciones de los eclipses primario y secundario dadas por las siguientes expresiones:

$$l_{pri}(\phi) = \begin{cases} \frac{2amp_{pri}}{\phi_1 - \epsilon}(\phi - \phi_1) + m_{luz} + amp_{pri} & si & \phi_1 - \epsilon \leq \phi \leq \phi_1 \\ \frac{-2amp_{pri}}{\phi_1 - \epsilon}(\phi - \phi_1) + m_{luz} + amp_{pri} & si & \phi_1 \leq \phi \leq \phi_1 + \epsilon \end{cases}, \quad (2.9)$$

y

$$l_{sec}(\phi) = \begin{cases} \frac{2amp_{sec}}{\phi_2 - \epsilon}(\phi - \phi_2) + m_{luz} + amp_{sec} & si & \phi_2 - \epsilon \leq \phi \leq \phi_2 \\ \frac{-2amp_{sec}}{\phi_2 - \epsilon}(\phi - \phi_2) + m_{luz} + amp_{sec} & si & \phi_2 \leq \phi \leq \phi_2 + \epsilon \end{cases}, \quad (2.10)$$

A partir de esta parametrización, puede obtenerse una plantilla para representar sistemas tipo Algol, como la que se muestra en el panel superior izquierdo de la Figura 2.4.

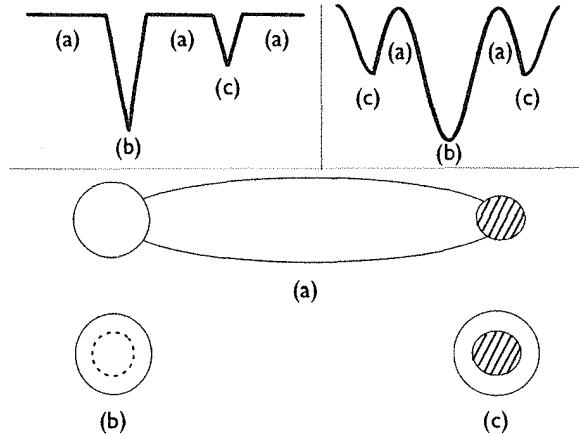


Figura 2.4: Plantilla curva de luz tipo Algol (panel izquierdo), curva tipo β Lyrae (panel derecho), configuración del sistema señalando: brillo del sistema fuera del eclipse (magnitud en luz máxima) (a), brillo en el momento en que la estrella más masiva eclipsa a la menos masiva (eclipse primario) (b) y brillo en el momento en que la estrella menos masiva eclipsa a la más masiva (eclipse secundario) (c).

Una vez obtenida la forma de la curva de luz para cada sistema, es necesario conocer los demás parámetros que la definen, como lo son la magnitud en luz máxima y la profundidad de los eclipses primario y secundario.

Magnitud en luz máxima

Notemos que en el panel inferior, en la Figura 2.4 denotado por (a), la configuración en luz máxima muestra a ambas estrellas fuera de la fase de eclipse, donde la magnitud total del sistema es obtenida de la suma de los flujos de ambas estrellas, es decir

$$m_{luz} = -2,5 \log(10^{-0,4m_1} + 10^{-0,4m_2}), \quad (2.11)$$

siendo $m_1 = -2,5 \log(f_1)$ y $m_2 = -2,5 \log(f_2)$ con m_1 y m_2 las magnitudes de las componentes primaria y secundaria y f_1 y f_2 sus flujos, respectivamente. De esta manera se calcula la magnitud en luz máxima para cada filtro.

Amplitud de los eclipses

Observando nuevamente la Figura 2.4 notamos que en el caso del eclipse primario, su magnitud es igual a la magnitud de la componente primaria, ya que esta se encuentra cubriendo totalmente el área de la componente secundaria. Para la componente secundaria, basta con considerar las áreas de las componentes primaria y secundaria A_1 , A_2 y sus brillos superficiales B_1 , B_2 , procediendo según lo propuesto en Percy (2007). Así se tiene que

$$m_{luz} = A_1 B_1 + A_2 B_2, \quad (2.12)$$

$$m_{pri} = A_1 B_1, \quad (2.13)$$

$$m_{sec} = (A_1 - A_2) B_1 + A_2 B_2. \quad (2.14)$$

De donde, las amplitudes de los eclipses primarios y secundario vienen dadas por:

$$amp_{pri} = m_{luz} - m_{pri} = A_2 B_2, \quad (2.15)$$

$$amp_{sec} = m_{luz} - m_{sec} = A_2 B_1. \quad (2.16)$$

Luego,

$$\frac{m_{pri}}{amp_{sec}} = \frac{A_1}{A_2} \quad (2.17)$$

pero $A_1 \sim R_1^2$ y $A_2 \sim R_2^2$

Así,

$$\frac{m_{pri}}{amp_{sec}} = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2. \quad (2.18)$$

Por otra parte, por definición se tiene que $A_1 B_1 \propto L$ y de la ley de Stefan Boltzman $B_1 \propto T_1^4$, de donde

$$\frac{amp_{sec}}{amp_{pri}} = \frac{A_2 B_1}{A_2 B_2} = \frac{B_1}{B_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^4. \quad (2.19)$$

Nuevamente, de acuerdo a la ley de Stefan-Boltzmann se tiene que

$$\frac{amp_{pri}}{m_{pri}} = \frac{A_2 B_2}{A_1 B_1} = \frac{L_2}{L_1}. \quad (2.20)$$

Estas deducciones de los parámetros de las curvas de luz parten de la suposición de que el sistema se encuentra totalmente de canto ($i = 90^\circ$). En trabajos futuros se pretende extenderla para incluir el efecto de la inclinación. También se espera extender la parametrización para estrellas con curvas de luz tipo Algol (Figura 2.4 panel izquierdo) para incluir eclipses anulares, los cuales ocurren cuando los radios de ambas componentes son muy diferentes y en el mínimo se muestra un eclipse plano y no un pico como es el caso de los eclipses totales sobre los cuales se está trabajando.

Una vez obtenidos estos parámetros cabe preguntarse cómo varían las amplitudes de los eclipses primario y secundario en los distintos filtros. Partiendo del hecho de que la variabilidad de estos sistemas se debe a efectos geométricos, a diferencia de estrellas como las RR Lyrae cuya variabilidad es intrínseca, se tiene que las amplitudes de los eclipses en los distintos filtros son aproximadamente iguales. Por otra parte, dependiendo de los tipos espectrales de cada una de las componentes y los filtros en los que sean observadas, los colores mostrarán variaciones, por ejemplo, un sistema con componentes de tipos espectrales muy distintos, en el cual una de las componentes, la más fría, sólo puede observarse en el ultravioleta y no en el infrarrojo.

Inclinación del plano de la órbita

Hasta este punto conocemos la posible forma de la curva de luz de cada binaria, pero desconocemos qué sistemas son en efecto eclipsantes. Para conocer que sistemas es posible detectar como eclipsantes, es necesario realizar un análisis del ángulo de inclinación del plano de la órbita. Retomando lo descrito en el Capítulo 1, es importante notar que las estrellas que se encuentran en sistemas de contacto o semi-separados presentan formas elipsoidales, debido a las deformaciones que sufren por efectos de marea, por esta causa, el radio a eclipsar es mucho mayor, por lo cual los rangos admisibles de inclinación del plano de la órbita para ser detectada como eclipsantes, en el caso de este tipo de sistemas, son mayores en comparación con los de los sistemas separados. En el caso de los sistemas separados, sólo es posible la detección si el ángulo es cercano a 90° , debido a la gran separación entre las componentes. En la Figura 2.5, se observa la representación geométrica de un sistema binario. Notemos que la ocurrencia del eclipse depende directamente del radio de ambas estrellas y su correlación con el ángulo subtendido entre el plano del observador y el plano en el que se encuentra contenida la órbita, es decir

$$2a \cos(i) < R_1 + R_2. \quad (2.21)$$

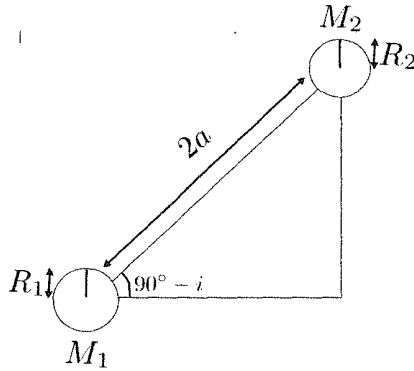


Figura 2.5: Representación esquemática de una binaria eclipsante. Relación inclinación-radio de las componentes.

La distribución de inclinaciones considerada para los fines de este trabajo es uniforme, siendo consistente con lo descrito por otros autores, como es el ejemplo de Arenou (2011), la cual es generada uniformemente como $\cos(i)$ para $i \in [0, 2\pi]$. Así, para cada sistema binario se simula una inclinación aleatoria i con esta distribución y se evalúa si el sistema es aceptado como binaria eclipsante dependiendo del tipo: si es tipo Algol, se acepta si la inclinación cumple con el criterio de la ecuación 2.21; si no, se acepta si i está entre 30° y 90° (Rucinski, 1993).

2.2.3. Muestreo temporal y errores fotométricos

En este punto, contamos con una plantilla de curva de luz para cada uno de los sistemas, dada a partir de la magnitud (absoluta) en luz máxima, la amplitud de los eclipses, la inclinación del plano de la órbita y el cociente de masas del sistema. El paso siguientes es simular el proceso de observación, para lo cual debemos reproducir el muestreo temporal, los errores fotométricos y los límites débil y brillante del sondeo en los diferentes filtros que queremos simular.

Muestreo temporal

El muestreo temporal es generado por el simulador a partir de los archivos con la fecha juliana heliocéntrica³ de las observaciones de cada filtro o a partir de una distribución uni-

³La fecha juliana heliocéntrica (HJD por sus siglas en inglés) corresponde a la fecha y hora de observación de una estrella suponiendo que es observada desde el centro del Sol, expresada en días

forme, generando un muestreo aleatorio, lo que será seleccionado por el usuario de acuerdo a sus necesidades.

Una vez simulado el muestreo temporal es necesario obtener la fase de la curva de luz para evaluar esta en las plantillas anteriormente mencionadas. La fase ϕ viene dada por la expresión:

$$\phi = \frac{t_i}{P} - \left[\frac{t_i}{P} \right] + \phi_{off}, \quad (2.22)$$

donde t_i es el HJD de la observación i -ésima, P el período de la curva de luz y ϕ_{off} es un corrimiento en fase. El corrimiento en fase ϕ_{off} se genera de manera aleatoria, con una distribución uniforme entre 0 y 1, siendo el mismo para todos los filtros y representa el valor de la fase en la que cae el eclipse primario. La fase ϕ toma valores en 0 y 1.

A partir de este muestreo obtenemos la magnitud m_i evaluando en la fase ϕ_i la plantilla de la curva de luz descrita en la sección anterior.

Errores fotométricos

Una vez obtenidas las plantillas de las curvas de luz y el muestreo temporal, se procede a simular los errores fotométricos. Estos errores son simulados en función de las curvas de error versus magnitud seleccionadas de acuerdo al sondeo que se quiera simular y para un sistema de filtros arbitrario. Como ejemplo, en la Figura 2.6 se muestran las curvas de error versus magnitud para el sondeo SDSS, en los filtros *ugriz* (panel superior) y para QUEST en los filtros VRI (panel inferior). El primer paso para la simulación de errores es considerar para cada filtro la curva de error versus magnitud y la desviación estándar correspondiente a cada uno de esos errores (δ). A partir de la desviación estándar del error (δ) se genera una distribución gaussiana que corresponderá a la desviación estándar del error simulado con media igual al error correspondiente a cada magnitud (σ). Una vez generado este número aleatorio gaussiano, se procede a simular el efecto de los errores gaussianos sobre las magnitudes observadas, generando un número aleatorio gaussianamente distribuido con media en la magnitud obtenida en las plantillas y con desviación estándar dada por este número aleatorio.

Finalmente, habiendo incorporando los errores, obtenemos la curva de luz simulada para una población de binarias a partir de sus parámetros físicos. La Figura 2.7 muestra un ejemplo de curvas de luz sintéticas producidas con ELLISA para 3 sistemas: uno tipo Algol (panel inferior), uno tipo β Lyrae (panel superior izquierdo) y uno tipo WUMa (panel supe-

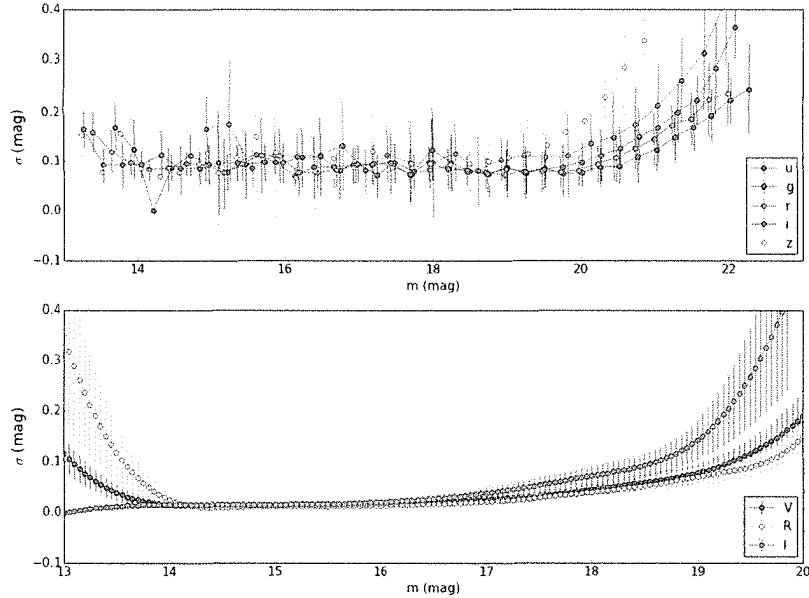


Figura 2.6: Curvas de error vs magnitud correspondientes a los sistemas SDSS (panel superior), Johnson-Cousins (panel inferior), las barras de error representan la desviación estándar del error para cada magnitud

rior derecho), para los filtros *ugriz* usando las curvas de error versus magnitud y muestreo temporal típico del sondeo multiépoca de SDSS⁴ en el stripe-82 (Sesar et al., 2010). Puede notarse la diferencia entre los sistemas del panel superior. Para el caso del sistemas WUMa (superior derecho), las amplitudes de ambos eclipses son similares, mientras que para el sistemas β Lyrae son distintas. En el panel inferior observamos un sistema Algol, cuya curva muestra eclipses abruptos a diferencia de los sistemas anteriores. En el capítulo siguiente se mostrará un ejemplo similar para QUEST al utilizar el simulador para la generación de la biblioteca y caracterización de la completitud.

2.3. Catálogo sintético de binarias eclipsantes

Mediante el uso del simulador aquí descrito, se procedió a generar una población sintética de binarias eclipsantes con características similares a las del Disco Delgado, tal y como puede observarse en la Figura 2.8 en la que se muestran los *turnoff* de cada una de las PESs que lo componen. Se observa la presencia predominante de estrellas en la secuencia principal, tal

⁴Para hacer la simulación con los filtros SDSS, se usó el sistema de filtros Johnson para la simulación con BASSIC y se utilizaron las ecuaciones de transformación al sistema *ugriz* de Jordi et al. (2006)

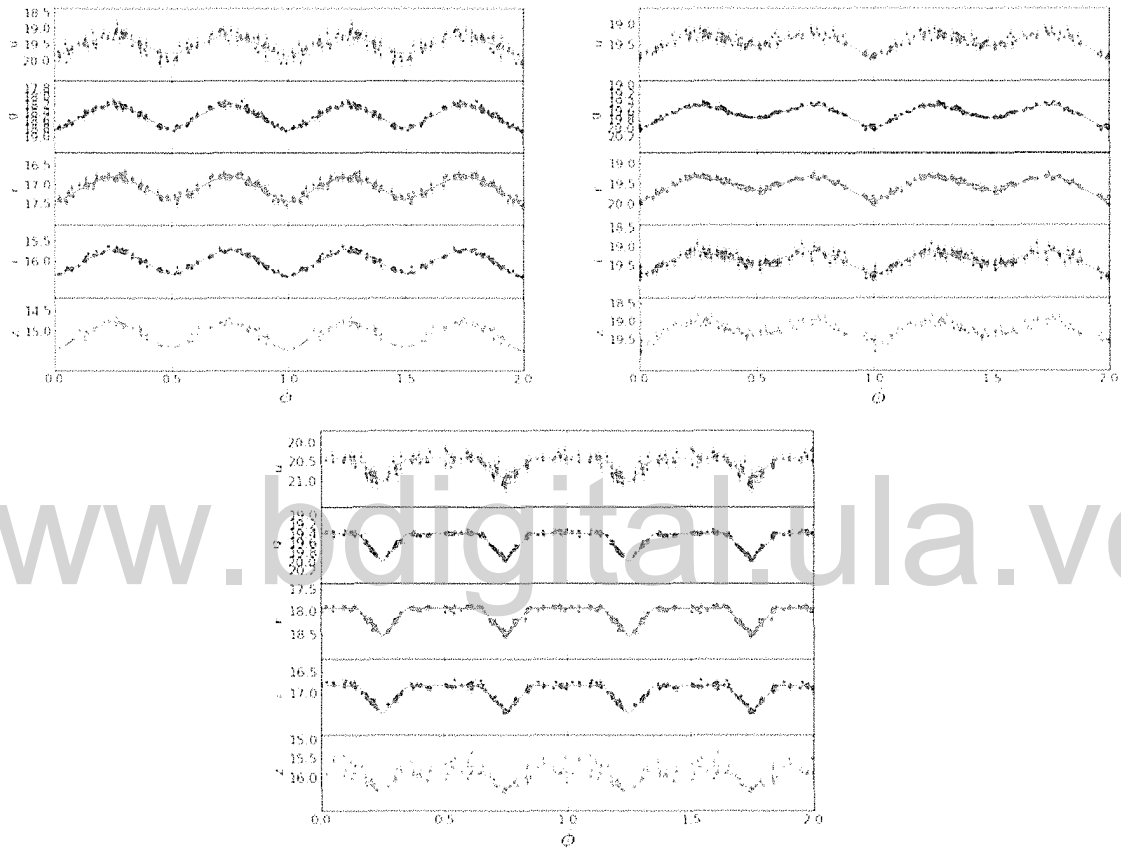


Figura 2.7: Curvas de luz simuladas usando los filtros de SDSS para sistemas: WUMa (panel superior izquierdo), β Lyrae (panel superior derecho), Algol (panel inferior)

y como era de esperarse, así como algunas estrellas en las fases de subgigante y gigante roja para las poblaciones entre 5 y 10 Gaños.

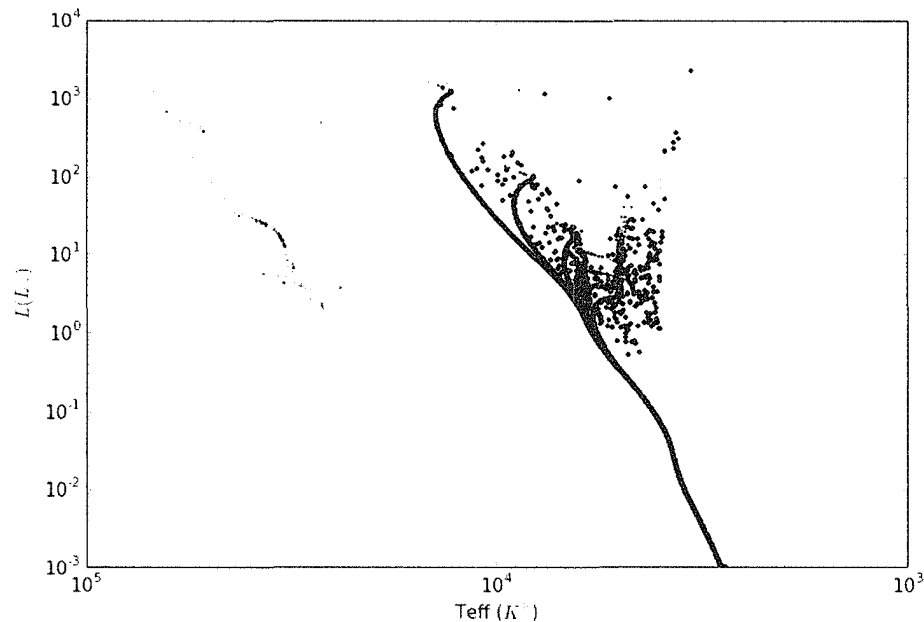


Figura 2.8: Diagrama H-R de la población sintética de binarias eclipsantes

Esta población estelar compuesta de binarias eclipsares fue seleccionada según la inclinación del plano de la órbita en el caso de los sistemas tipo EA y para los sistemas EB+EW siguiendo la parametrización hecha por Rucinski (1993), tal y como se mostró en la sección 1.1.2 a partir de una distribución de inclinaciones uniforme. Posterior a esta selección, la distribución obtenida de inclinaciones de la población se muestra en la Figura 2.9, en la que se observa que para los sistemas EA (rojo) las inclinaciones toman valores muy cercanos a 90° , ángulo para el cual el sistema es observado de canto.

En la Figura 2.10 se muestra la comparación entre la distribución original de Duquennoy & Mayor (1991) utilizada por BASSIC para simular la distribución completa de sistemas binarios y la distribución de períodos resultantes luego de evolucionar la población y seleccionar solo los sistemas eclipsantes según el tipo, siguiendo el procedimiento descrito en la Sección 2.2.2. Puede observarse que para períodos más cortos donde dominan los sistemas EB+EW y en donde pueden encontrarse de igual manera sistemas EA de baja amplitud se encuentra el mayor porcentaje de binarias eclipsantes. Puede notarse la existencia de binarias eclipsantes de períodos largos que corresponden a sistemas EA e incluso a sistemas EB+EW

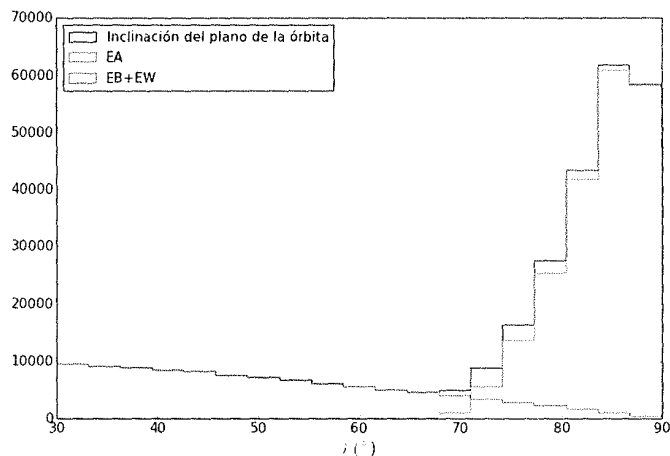


Figura 2.9: Distribución de inclinaciones binarias eclipsantes (negro), sistemas EA (rojo), sistemas EB+EW (azul).

con componentes masivas.

Tomando en cuenta los sistemas clasificados como eclipsantes con la distribución de inclinaciones mostrada en la Figura 2.9 y tomando como cota superior en la búsqueda de períodos, 15 días, se obtuvo, a partir de la distribución de Duquennoy & Mayor (1991), la distribución en color rojo de la Figura 2.10. Puede observarse en el panel derecho con más detalle que las binarias eclipsantes son más comunes hacia períodos menores a 2 días.

A partir de las distribuciones de períodos de binarias eclipsantes de la Figura 2.10, mediante la tercera ley de Kepler, se obtuvo la separación entre las componentes primaria y secundaria de cada sistema. Observamos la presencia de sistemas EB+EW con separaciones mayores a $10 R_{\odot}$, lo cual indica la presencia de sistemas que se encuentran realizando transferencia de masa unilateral o bilateralmente y cuyas componentes tienen radios lo suficientemente grandes comparables con la separación existente entre ellas (entre $2.5 R_{\odot}$ a $100 R_{\odot}$) como para propiciar dicha transferencia. Por otra parte observamos una importante fracción de sistemas EA con separaciones menores a $1 R_{\odot}$, lo que indica la presencia de estrellas con radios menores a $0.5 R_{\odot}$.

Partiendo de las separaciones y períodos aquí mostrados que corresponden a la población a una edad cero, procedemos a observar la distribución de períodos posterior a la evolución de la población. En el panel izquierdo se muestra la distribución de períodos de la biblioteca sintética. Observamos la distribución de sistemas EB+EW, la cual muestra un pico alrede-

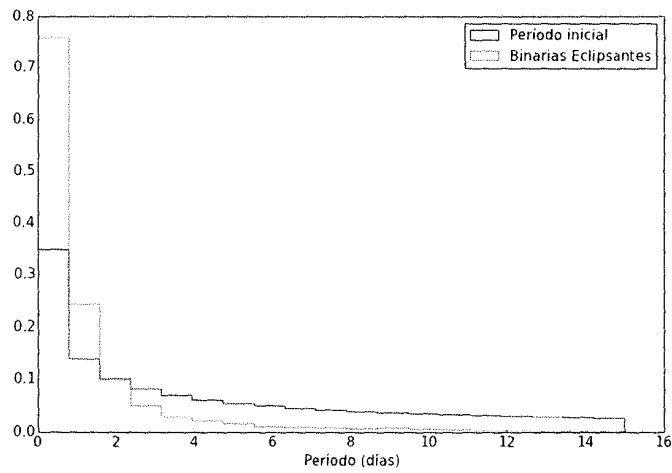


Figura 2.10: Distribución de períodos de los sistemas binarios generados con BASSIC (negro) y de aquellos seleccionados con ELLISA (rojo).

www.bdigital.ula.ve

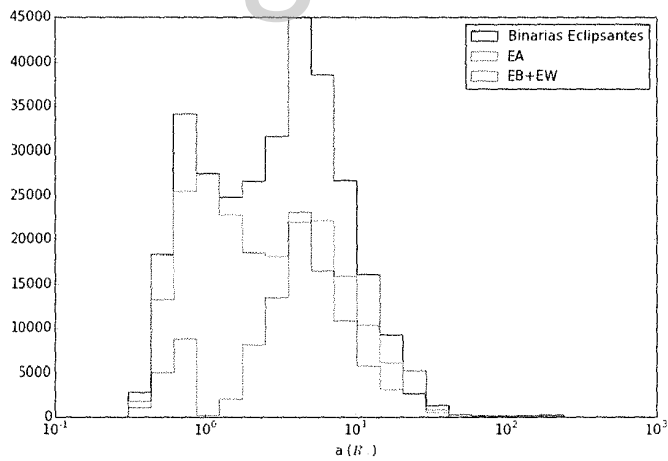


Figura 2.11: Distribución de separaciones de Binarias Eclipsantes (negro), sistemas EA (rojo), sistemas EB+EW (azul).

dor de 0.5 días al igual que la distribución para el mismo tipo de sistemas en ASAS (panel medio). Por otro lado, los sistemas EA, se muestran en todo el rango de períodos, al igual que puede observarse en la distribución de períodos correspondiente a OGLE.

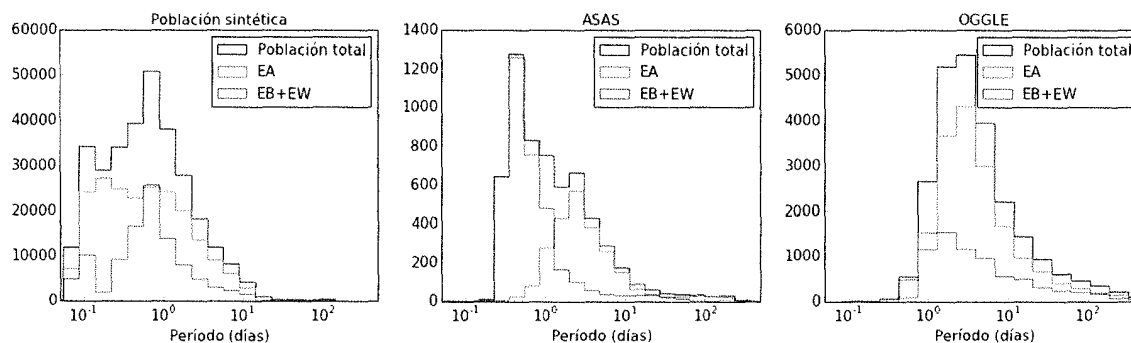


Figura 2.12: Distribución de período de binarias eclipsantes: población sintética (panel izquierdo), ASAS (panel central), OGLE (panel derecho). En color negro se muestra la población total, los sistemas EA en rojo y los sistemas EB+EW en color azul.

Por otra parte, para la amplitud en el filtro V que se muestra en la Figura 2.13, observamos un comportamiento muy similar en el caso de la población sintética generada en este trabajo y lo reportado en OGLE. Al realizar un análisis para amplitudes mayores a 1 magnitud, observamos que en los otros sondeos, no se muestran sistemas de contacto con tanta predominancia como en el caso de nuestra simulación. Este particular comportamiento se debe a la existencia de sistemas de contacto con estrellas con radios mucho mayores a $1 R_{\odot}$, que corresponde en la secuencia principal aproximadamente a $1 M_{\odot}$ que, a su vez, corresponde aproximadamente a la masa del *turnoff* del Halo. Como puede observarse en la panel izquierdo de la Figura 2.14, las estrellas con radios mayores a $1 R_{\odot}$ corresponden a estrellas de Secuencia Principal masivas y a estrellas en fase de gigantes. Notamos en el panel derecho que la distribución de amplitudes es dominada por estrellas con radios mayores a ese valor para amplitudes mayores a 1 magnitud. Finalmente, vale destacar que las distribuciones de OGLE y ASAS son observadas, tienen sesgos observacionales, similares a los que queremos caracterizar en este trabajo.

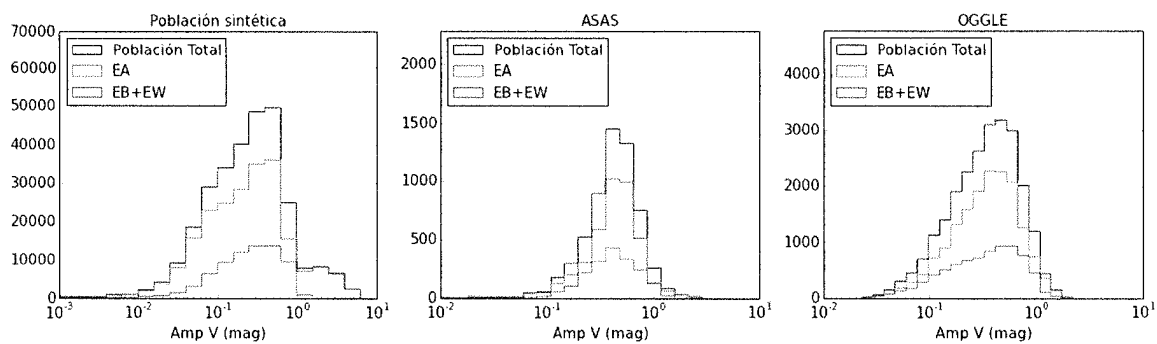


Figura 2.13: Distribución de amplitudes de binarias eclipsantes: población sintética (panel izquierdo), ASAS (panel central), OGLE (panel derecho). En color negro se muestra la población total, los sistemas EA en rojo y los sistemas EB+EW en color azul.

www.bdigital.ula.ve

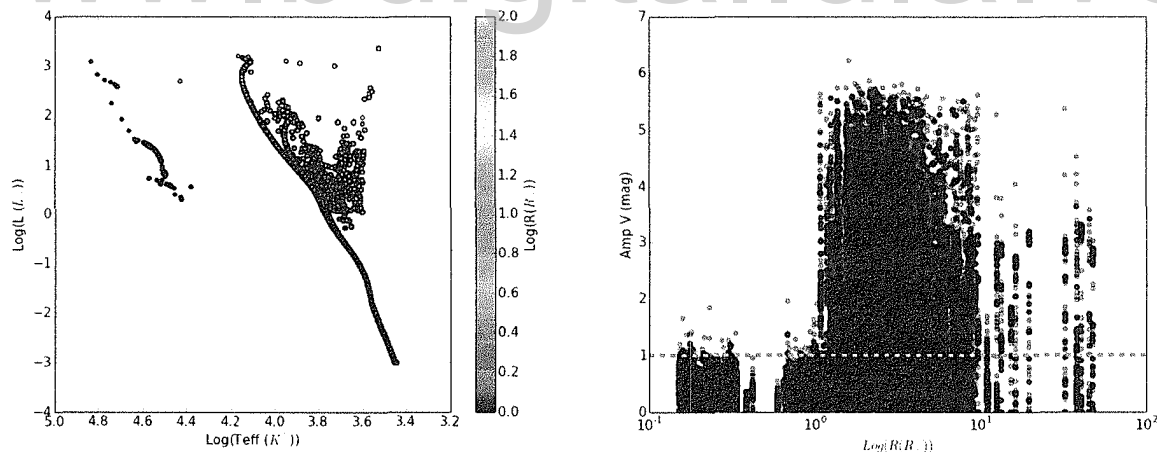


Figura 2.14: Diagrama H-R de la población sintética en función de los radios estelares (panel izquierdo), Diagrama amplitud V versus radio (panel derecho).

www.bdigital.ula.ve

Capítulo 3

Búsqueda de binarias eclipsantes en el sondeo QUEST

En este capítulo, se describe el Sondeo QUEST, sobre el que se realizó la búsqueda de binarias eclipsantes.

3.1. El catálogo QUEST de estrellas variables

En el presente trabajo hacemos uso del catálogo QUEST de variabilidad a baja latitud galáctica, presentado en Mateu (2011). Este catálogo cubre un área total de 476 grados cuadrados en el cielo y consta de observaciones multi-época en los filtros V,R e I obtenidas en su totalidad con el telescopio Schmidt (STOCK) y la cámara QUEST-I de mosaico del Observatorio Astronómico Nacional (OAN), situado en Llano del Hato, Edo. Mérida. Las observaciones corresponden a una zona a baja latitud galáctica $-25^\circ \lesssim b \lesssim 30^\circ$ aproximadamente en dirección al anticentro galáctico $190^\circ \leq l \leq 230^\circ$. Se usaron observaciones de archivo con diversas combinaciones de filtros y asociadas a distintos proyectos, razón por la cual la duración de las observaciones en modo barrido es muy variada, oscilando entre $\sim 0,67h$ hasta $7h$. De igual manera, en algunas ocasiones algunas áreas del cielo fueron observadas varias veces durante una misma noche, aunque en la mayoría de los casos un área dada del cielo fue observada sólo una vez por noche y luego repetido en noches siguientes durante varias semanas. Debido a esto, existen zonas para las cuales solo se tienen ~ 10 observaciones por filtro y para otras puede haber más de 100, haciendo que la distribución espacial del sondeo sea inhomogénea tal y como se muestra en la Figura 3.1. En esta figura se muestra el número de observaciones (eje de color) para cada uno de los filtros del sondeo. Puede observarse también que hacia los extremos del sondeo, el número de observaciones disminuye. Notamos la existencia de regiones para las cuales no se cuenta con observaciones

en R e I como lo son $-5.5^\circ \lesssim \delta \lesssim -5^\circ$ y $\alpha \leq 110^\circ$, y $-2^\circ \lesssim \delta \lesssim +0^\circ$ y $\alpha \geq 110^\circ$. Por otra parte, la zona con mayor número de observaciones es la correspondiente a $-2^\circ \lesssim \delta \lesssim +2^\circ$ y $80^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ (Mateu, 2011). El catálogo cuenta con 6.513.705 objetos.

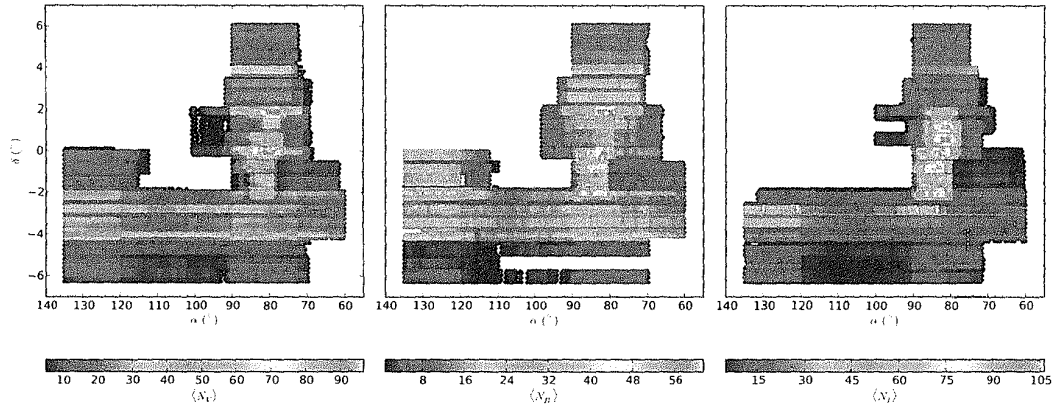


Figura 3.1: Distribución espacial en coordenadas ecuatoriales del sondeo para los filtros V (panel izquierdo), R (panel central), I (panel derecho). La escala de colores en cada uno de los paneles indica el número promedio de observaciones por filtro por estrella (tomado de Mateu et al. 2011).

El Cuadro 3.1 resume las magnitudes de saturación M_{sat} , límite M_{lim} y de completitud M_{com} del sondeo en los filtros V, R e I, lo que define la profundidad fotométrica del catálogo. Las magnitudes de saturación y límite corresponden, respectivamente, a las magnitudes del objeto más brillante y más débil que puede ser observado. La magnitud de completitud en un filtro dado, es aquella para la que se tiene la certeza de haber identificado la totalidad de los objetos más brillantes que dicha magnitud. Los datos indicados en esta tabla también son tomados de Mateu (2011).

Cuadro 3.1: Magnitudes de saturación (M_{sat}), completitud (M_{com}) y límite (M_{lim}) del sondeo en los filtros V, R e I y sus errores correspondientes (Mateu, 2011).

Filtro	M_{sat}	ΔM_{sat}	M_{com}	ΔM_{com}	M_{lim}	ΔM_{lim}
V	14.0	0.018	18.5	0.064	19.70	0.15
R	14.0	0.018	18.5	0.072	19.75	0.15
I	13.5	0.020	18.0	0.078	18.80	0.15

3.2. Identificación de estrellas variables

Para proceder a identificar las binarias eclipsantes en QUEST, el primer paso es la identificación de estrellas que presenten una variabilidad fotométrica. Esto se hace en base a los índices de variabilidad de Stetson (1996), siguiendo a Mateu (2011), ya que estos índices permiten tomar en cuenta la correlación en la variabilidad observada en las distintas bandas fotométricas. Los índices descritos a continuación, fueron calculados en el catálogo presentado en Mateu et al. (2012).

3.2.1. Índices de variabilidad de Stetson

Se define como índice L (Stetson, 1996) a la siguiente expresión:

$$L \equiv JK \left(\frac{\sum_k \omega_k}{\omega_{all}} \right), \quad (3.1)$$

con ω_k los pesos de los errores fotométricos y ω_{all} la suma de los pesos que tendría una estrella que haya sido observada en todas las bandas y épocas de la muestra, J y K son los índices de Stetson.

El índice K (Stetson, 1996), cuya expresión es muy similar a la kurtosis (Press et al., 1992), permite tomar en cuenta la forma de la distribución de las magnitudes y resulta de gran utilidad en la identificación de estrellas variables con curvas de luz aproximadamente sinusoidales como las binarias eclipsantes tipo EW, las cuales son de particular interés en este trabajo. Para dicho tipo de variables, el índice K toma típicamente valores mayores a 1.

$$K \equiv \sqrt{\frac{\pi}{2} \frac{\frac{1}{N'} \sum_{i=1}^{N'} |\delta_i|}{\sqrt{\frac{1}{N'} \sum_{i=1}^{N'} \delta_i^2}}}, \quad (3.2)$$

donde N' es el número de observaciones individuales en todas las bandas fotométricas, sin tomar en cuenta el apareamiento y donde δ_i está dado por:

$$\delta_i \equiv \sqrt{\frac{n}{n-1} \frac{m_i - \bar{m}}{\sigma_i}}, \quad (3.3)$$

con m_i las distintas magnitudes, $i \in n$ con n el número de filtros, σ_i sus errores fotométricos correspondientes y \bar{m} la media de las magnitudes pesada por σ_i definida en la Ecuación 3.4

$$\overline{m} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\omega_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\omega_i^2}}. \quad (3.4)$$

Por otra parte, el índice J (Stetson, 1996) viene dado por:

$$J \equiv \sum_{k=1}^N \omega_k \operatorname{sgn}(P_k) \sqrt{|P_k|}, \quad (3.5)$$

donde

$$P_k \equiv \begin{cases} \delta_{i(k)} \delta_{j(k)}, & \omega_k = 1 & \text{si } i(k) \neq j(k) \\ \delta_{i(k)}^2 - 1, & \omega_k = \frac{1}{2} & \text{si } i(k) = j(k) \end{cases} \quad (3.6)$$

donde i y j representan observaciones fotométricas en un mismo filtro o en distintos filtros para la época k y ω_i está dado por:

$$\omega_i \equiv \sigma_i \left[1 + \left(\frac{\delta_i}{a} \right)^b \right], \quad (3.7)$$

donde $a = b = 2$ para asegurar la convergencia del método, según Stetson (1996).

El índice J descrito en la Ecuación 3.5, permite tomar en cuenta la correlación entre filtros existente en el caso de una estrella variable. Si existen distintas observaciones, pero las variaciones en dichas observaciones son causadas meramente por errores aleatorios, esto causará que el término $\delta_{i(k)} \delta_{j(k)}$ tienda a cero, con lo cual J tenderá a cero. Es decir que a medida que el valor de J sea mayor, para una estrella, su contribución al índice L será mayor, por lo cual su probabilidad de ser variable será mayor.

Partiendo de la Ecuación 3.1, se procedió a realizar el cálculo de los tres índices de Stetson L_{VR} , L_{VI} y L_{RI} , para los filtros disponibles en el sondeo (V, R e I). Debido a la cobertura irregular del sondeo, existen zonas que carecen de observaciones en uno o más filtros, tal como puede observarse en la Figura 3.1. Tal es el caso de la zona comprendida entre $-5,5^\circ \lesssim \delta \lesssim -5^\circ$ y $\alpha \leq 110^\circ$, la cual no cuenta con observaciones en las bandas R e I (Mateu, 2011). Por esta razón, siguiendo a Mateu (2011), seleccionamos como candidatas a estrellas variables, aquellas que satisfagan la condición siguiente

$$L_{VR} \geq 1 \quad \text{o} \quad L_{VI} \geq 1 \quad \text{o} \quad L_{RI} \geq 1 \quad (3.8)$$

3.3. Identificación de binarias eclipsantes

El siguiente paso en la búsqueda de binarias eclipsantes consiste en identificación de aquellas variables que sean periódicas, así como la identificación del período de variación. Para esto, utilizamos las herramientas desarrolladas en Mateu (2011) que emplean una modificación del método de Lafler & Kinman (1965) desarrollada por Stetson (1996) y ampliada en Mateu (2011), con el objetivo de incorporar la información de las series de tiempo en los filtros disponibles en el sondeo.

3.3.1. Cálculo de períodos

En el método original de Lafler & Kinman (1965), se propone un parámetro Θ , calculado como la suma de las diferencias de magnitudes en la curva de luz puesta en fase, de manera que cuando el periodo de prueba coincide con el periodo real de variación la curva es suave y theta por lo tanto es mínimo. El parámetro Θ es descrito por la siguiente expresión

$$\Theta = \frac{\sum_{i=1}^{N_M} (m_i - m_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^{N_M} (m_i - \bar{M})}, \quad (3.9)$$

donde N_M representa el número de observaciones en la banda M y \bar{M} denota la magnitud promedio.

La modificación propuesta por Stetson (1996), parte de los pesos

$$\omega(i, i+1) = \frac{1}{\sigma_i^2 + \sigma_{i+1}^2} \quad (3.10)$$

y es descrita por la siguiente expresión:

$$S(M) = \frac{\sum_i^{N_M} \omega(i, i+1) |m_i - m_{i+1}|}{\sum_i^{N_M} \omega(i, i+1)}. \quad (3.11)$$

Finalmente, incorporando la información de las series de tiempo en los filtros V, R e I, Mateu (2011) propone la modificación siguiente

$$S_{VRI} = \frac{N_V S(V) + N_R S(R) + N_I S(I)}{N_V + N_R + N_I} \quad (3.12)$$

donde N_V , N_R y N_I representan el número de observaciones en los filtros V, R e I respectivamente. De este modo, el período real es aquel que minimiza el parámetro S_{VRI} . Adicionalmente, se define el parámetro Λ como el indicador de la profundidad del mínimo correspondiente de S_{VRI} , mediante el cual se puede determinar si esta es significativamente mayor que

la dispersión típica del índice S_{VRI} para los diferentes períodos de prueba, cuya expresión es la siguiente:

$$\Lambda = \frac{S_{VRI}(P) - \langle S_{VRI} \rangle}{\sigma(S_{VRI})}, \quad (3.13)$$

donde $\langle S_{VRI} \rangle$ y $\sigma(S_{VRI})$ representan el promedio y la desviación estándar de la distribución S_{VRI} para todos los períodos de prueba.

La búsqueda de períodos se realizó sobre las estrellas seleccionadas como variables según el criterio de los índices de Stetson (Stetson, 1996) y que cumplieran que, al menos en dos filtros, las amplitudes correspondientes sean mayor a 0.2 magnitudes y que el número de observaciones sea mayor a 10, puesto que amplitudes menores o iguales a 0.2 magnitudes suelen confundirse con el error fotométrico y se exige un número de observaciones mayor a 10 en al menos dos filtros para poder hacer el cálculo de períodos sobre una curva bien muestreada.

La búsqueda de períodos fue realizada con el método descrito en esta sección, mediante el uso del programa *compute_period_lk_stetson_obs.v5.py* desarrollado por Mateu (2011). En el trabajo de Mateu (2011) se hace una búsqueda con períodos entre 0.2 días y 1 día con un paso constante, puesto que dicho trabajo estaba dirigido a identificar estrellas RR Lyrae que tienen un rango limitado de períodos. En nuestro caso, las binarias eclipsantes pueden tener períodos entre 0.02 días y varios años (Sección 2.2). En primer lugar, limitamos la búsqueda a períodos entre 0.04 días y 15 días. La búsqueda se restringió a este rango pues al realizar la selección de binarias eclipsantes sobre toda la distribución de períodos de Duquenois & Mayor (1991), se observó una caída en la distribución en 15 días y también debido a que para períodos mayores a 15 días se hace difícil poseer curvas bien muestreadas. Para períodos menores a 0.04 d, por ser tan cortos, resulta complicado observar los eclipses debido a la duración de estos con respecto al período de esos sistemas, por lo que puede ocurrir que un sistema que sea eclipsante no sea observado como tal, el porcentaje de binarias eclipsantes en este rango de períodos es de 98%. Para realizar una exploración más eficiente, modificamos el algoritmo del programa *compute_period_lk_stetson_obs.v5.py* para que utilizara un paso adaptativo, con espaciado logarítmico. Se seleccionó un número total de 10^7 pasos entre 0.04 y 15 d, lo que corresponde a un paso porcentual de $6 \times 10^{-5} \%$. Una vez completada la búsqueda con este paso inicial, se seleccionan los 5 mejores períodos obtenidos (aquellos para los cuales S_{VRI} es mínimo y Λ máximo), que se refinan repitiendo la búsqueda con un paso lineal de 10^{-5} d. Finalmente, se seleccionaron los mejores tres períodos para cada estrella, tomando aquellos períodos cuyo parámetro Λ fuera máximo.

El paso final consiste en la inspección visual de las curvas de luz puestas en fase con los tres mejores períodos obtenidos, mediante el uso de la herramienta *inspect.py* desarrollada por Mateu (2011). En base a la inspección de ~ 1000 curvas de luz con valores de $\Lambda \geq 4$, se constató que la amplia mayoría de las curvas con $\Lambda < 5$ son considerablemente ruidosas y por lo tanto resultan en un gran número de candidatas poco confiables. Por esta razón, la inspección se realizó únicamente para las 10020 estrellas para las que se obtuvo al menos un período estadísticamente significativo, con $\Lambda \geq 5$.

La selección de la estrellas se hizo en base a la forma de la curva de luz, tomando en cuenta que cada tipo de sistema presenta una curva definida (Sección 1.2.2) y, en el caso de los sistemas WUMa, para evitar confundirlas con estrellas RRc u otro tipo de estrellas pulsantes de corto período, para ser clasificada como WUMa o β Lyrae, las amplitudes en los diferentes filtros deben ser similares entre sí, a diferencia de las variables pulsantes que tienen amplitudes más grandes siempre en las bandas más azules.

3.3.2. Catálogo de binarias eclipsantes

De la identificación visual se obtuvieron 1125 candidatas a binarias eclipsantes, constituidas por 179 EA, 60 EB y 886 EW, que corresponden a 15.9%, 5.3% y 78.8% del catálogo total respectivamente.

Las magnitudes y amplitudes para los filtros V, R e I, los períodos y el tipo de variable se muestran en el Apéndice B. Para las 1125 candidatas, la distribución de magnitudes se muestra en la Figura 3.2. Puede observarse la caída de la distribución hacia las magnitudes límite y de saturación del sondeo.

De la misma manera, observamos la presencia predominante de sistemas EB+EW en la distribución de amplitudes que se muestra en la Figura 3.3. La presencia de sistemas EB+EW con amplitudes mayores a 0.5 magnitudes es notable, lo que es consistente con la distribución de amplitudes de OGLE (Fig 2.13), en la cual se muestran sistemas EB+EW con amplitudes mayores a 0.5 magnitudes y sistemas EA con amplitudes menores a 0.5 magnitudes.

Por otra parte, puede observarse en la Figura 3.4 que los sistemas EB+EW dominan en el rango de períodos menores a 1 día. Notamos que el rango de períodos mayores a un día es dominado por sistemas EA. Esto es consistente con las distribuciones de períodos correspondientes a otros sondeos importantes como OGLE, ASAS y GCVS.

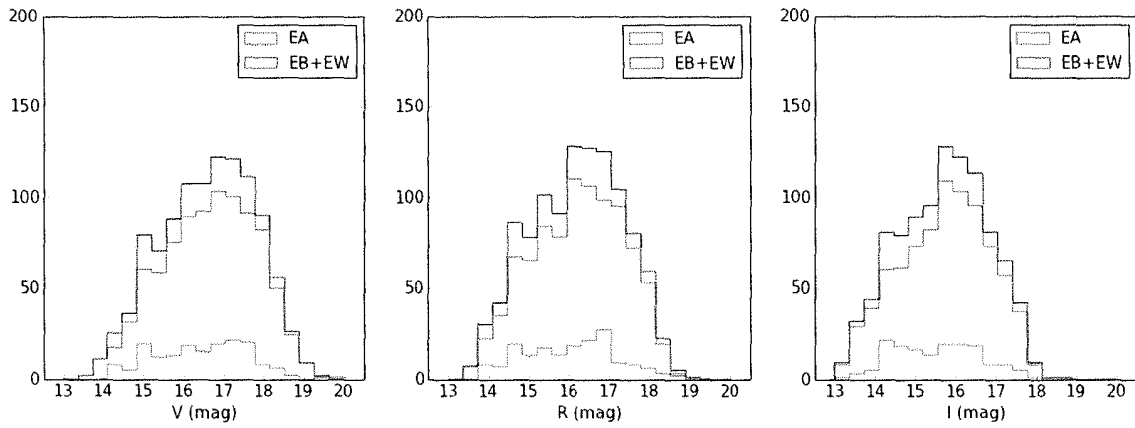


Figura 3.2: Distribución de magnitudes del catálogo de binarias eclipsantes de QUEST (negro), binarias eclipsantes tipo Algol (rojo), binarias eclipsantes tipo WUMa y β Lyrae (azul).

www.bdigital.ula.ve

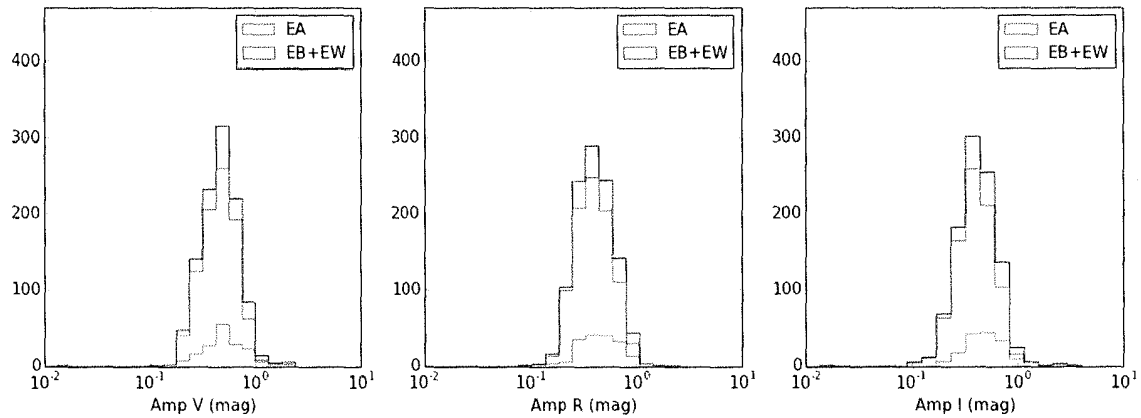


Figura 3.3: Distribución de amplitudes del catálogo de binarias eclipsantes de QUEST (negro), binarias eclipsantes tipo Algol (rojo), binarias eclipsantes tipo WUMa y β Lyrae (azul).

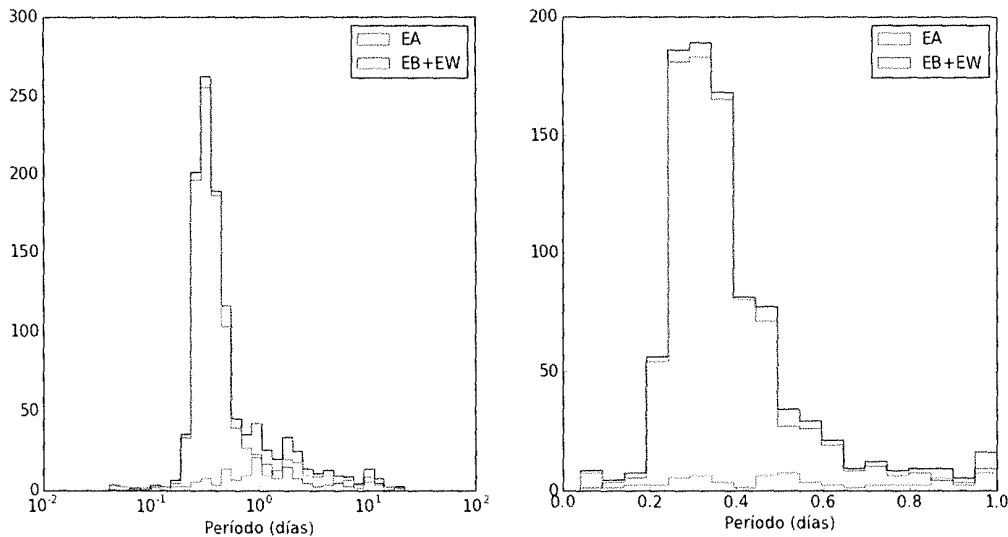


Figura 3.4: Distribución de períodos del catálogo de binarias eclipsantes de QUEST (negro), binarias eclipsantes tipo Algol (rojo), binarias eclipsantes tipo WUMa y β Lyrae (azul). En el panel de la izquierda se muestra el rango total de períodos explorado en una escala logarítmica. El panel de la derecha muestra esta distribución para períodos menores a 1d y en una escala lineal.

www.bdigital.ula.ve

3.4. Caracterización de la completitud del catálogo QUEST de binarias eclipsantes

En esta sección describiremos el uso del simulador ELLISA, descrito en el Capítulo 2, para la simulación de una biblioteca sintética de curvas de luz de binarias eclipsantes que reproduzca las características del sondeo QUEST.

En primer lugar se seleccionaron al azar 307935 estrellas del catálogo QUEST, para utilizar el muestreo temporal de cada una como entrada para ELLISA. De esta forma se logra una simulación representativa con el muestreo temporal típico en las 3 bandas, tomando en cuenta la dependencia con la zona del sondeo, que es un efecto importante debido a la inhomogeneidad del sondeo como se mostró en la Figura 3.1.

Se utilizaron las magnitudes límite y de saturación del sondeo QUEST resumidas en la Tabla 3.1 y las curvas de error versus magnitud como función de la zona del sondeo. Estas

curvas fueron calculadas por Mateu (2011), subdividiendo el catálogo total en regiones de 1h de ascensión recta por 0.55 grados en declinación, lo que permite tomar en cuenta el efecto que tiene el cambiante número de observaciones por objeto en cada filtro sobre el error fotométrico en diferentes regiones del sondeo. En la Figura 3.5, se muestra la distribución espacial de la simulación. Puede observarse que el número de observaciones es irregular en toda la distribución. La biblioteca sintética se simuló suponiendo una población tipo Disco Delgado, en el caso del sondeo QUEST de Mateu et al. (2012), esto constituye una simplificación razonable ya que el sondeo se concentra a baja latitud galáctica ($|b| < 30^\circ$) donde se espera que la población este dominada por el disco delgado. Luego, se aplicaron los procedimientos descritos en las Secciones 3.2 y 3.3 para realizar sobre la biblioteca sintética la identificación de las estrellas variables, el cálculo de períodos y, finalmente, la identificación de las binarias eclipsantes, exactamente de la misma manera que se hizo con el catálogo real.

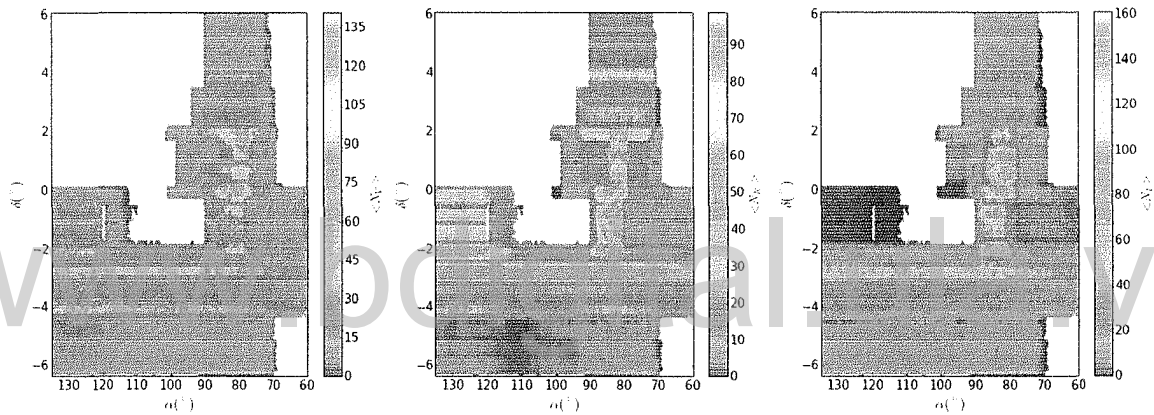


Figura 3.5: Distribución espacial en función del número de observaciones en los filtros V (izquierdo), R (central), I (derecho) de la biblioteca sintética

En lo que sigue analizaremos, en primer lugar, la completitud de la identificación de variables y luego la completitud final del sondeo de binarias eclipsantes con períodos recuperados. Se analizará la dependencia de la completitud como función de la magnitud aparente, la amplitud de variación y el período en ambos casos.

3.4.1. Completitud de la Identificación de estrellas variables

Se calcularon los índices L de Stetson correspondientes a los distintos filtros para las estrellas pertenecientes a la población sintética de binarias eclipsantes y se observó cómo varía la completitud en función de las amplitudes, magnitudes y períodos de la población sintética.

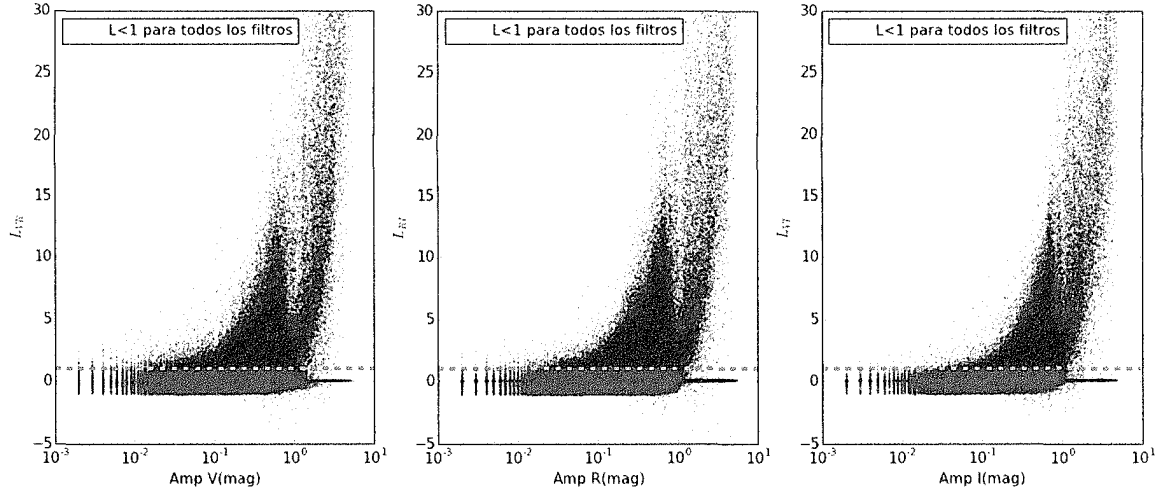


Figura 3.6: Índices L de Stetson versus amplitud, índice L_{VR} versus $AmpV$ (izquierda), índice L_{RI} versus $AmpR$ (medio), índice L_{VI} versus $AmpI$ (derecha).

En la Figura 3.6 se muestra el diagrama de los índices de variabilidad de Stetson versus la amplitud en los tres filtros para la población sintética de binarias eclipsantes descrita en el capítulo anterior (Sección 2). En puntos negros se observa la población total, mientras que los puntos verdes simbolizan aquellas estrellas que son clasificadas por el método de Stetson como no variables, es decir, que no satisfacen el criterio de la Ecuación 3.8, tal como se observa delimitado por la línea roja. La nube de puntos con amplitudes mayores a 1 magnitud se debe a los sistemas en los que al menos una componente tiene un radio mayor a $1R_{\odot}$. La otras son mayoritariamente sistemas con estrellas de secuencia principal con radios menores (y por lo tanto, de masas menores a $1M_{\odot}$). Como se observa en la figura, la mayoría (77,5%) de binarias cuyas amplitudes son menores a 0.2 magnitudes son clasificadas como estrellas no variables, estas constituyen un 40% de la muestra total. Esto ocurre ya que para amplitudes muy similares al error fotométrico (como ejemplo de esto, el error correspondiente a 19.25 magnitudes en V para QUEST es de 0.1019 mag, como puede verse en la Figura 2.6), el índice J de Stetson tiende a cero como se explicó en la Sección 3.2.1, puesto que la amplitud es interpretada por su tamaño como consistente con el error fotométrico aleatorio, lo que hace que el valor del índice L de variabilidad de Stetson tienda a ser muy pequeño.

Cabe notar que el 41% de binarias con amplitudes mayores a 0.2 magnitudes son identificadas como estrellas no variables, de las cuales la amplia mayoría (86%) corresponde a binarias tipo EA que, debido a la cadencia temporal irregular del sondeo, pueden poseer curvas pobremente muestreadas, por lo que los eclipses no pueden distinguirse claramente, con

lo cual los puntos que se encuentren en los lugares correspondientes a los eclipses y que no muestren un patrón evidente pueden ser considerados como errores aleatorios, teniendo como consecuencia que el índice J , y por lo tanto L , tiendan a cero (ver ecuaciones 3.1,3.5, Sección 3.2.1), tal y como se muestra para amplitudes mayores a un punto en la franja alrededor de $L=0$. Por este motivo pueden encontrarse binarias tipo EA cuya amplitud real sea mucho mayor que la amplitud observada, pudiendo llegar esta última a ser cero.

Por esta razón, concluimos que las estrellas con amplitudes menores a 0.2 magnitudes no pueden ser identificadas, por lo que consideramos para el análisis a continuación, los objetos de la población sintética que satisfagan las siguientes condiciones:

- $Amp \geq 0,2$ mag, al menos en dos filtros
- $N_{obs} \geq 10$, al menos en dos filtros

Estos criterios fueron utilizados en la búsqueda de binarias eclipsantes sobre el catálogo real de QUEST, como se describió en la Sección 3.3.1, en base a este análisis, ya que la biblioteca sintética se utilizó como guía para optimizar los parámetros de la búsqueda.

Complejidad como función de la magnitud aparente

Restringiendo la población con los criterios anteriores, queremos ver cómo es el comportamiento de la completitud en función de las magnitudes en los distintos filtros disponibles en el sondeo. En la Figura 3.7 se muestra el diagrama de la completitud de la identificación de estrellas variables versus la magnitud aparente (real) de la población sintética (panel derecho) y la distribución de magnitudes (panel izquierdo) de toda la población (negro), indicando las estrellas que han sido identificadas como estrellas variables (azul). La distribución de magnitudes asumida para la simulación de esta población sintética es uniforme, tal y como se muestra en la figura, cayendo naturalmente hacia la saturación y límites impuestos en cada filtro. En el panel derecho se muestra el comportamiento de la completitud en función de las magnitudes en las distintas bandas con sus respectivos errores. Dicha completitud fue calculada obteniendo el cociente entre el número de estrellas clasificadas como variables (panel izquierdo histograma azul) usando este criterio y el número total de estrellas de la distribución (panel izquierdo histograma negro). Esta medida no es más que el porcentaje de estrellas que son correctamente clasificadas como estrellas variables. Puede notarse que hacia la magnitud límite la completitud disminuye, tomando su menor valor en dicha magnitud. La completitud media es 43,8 %.

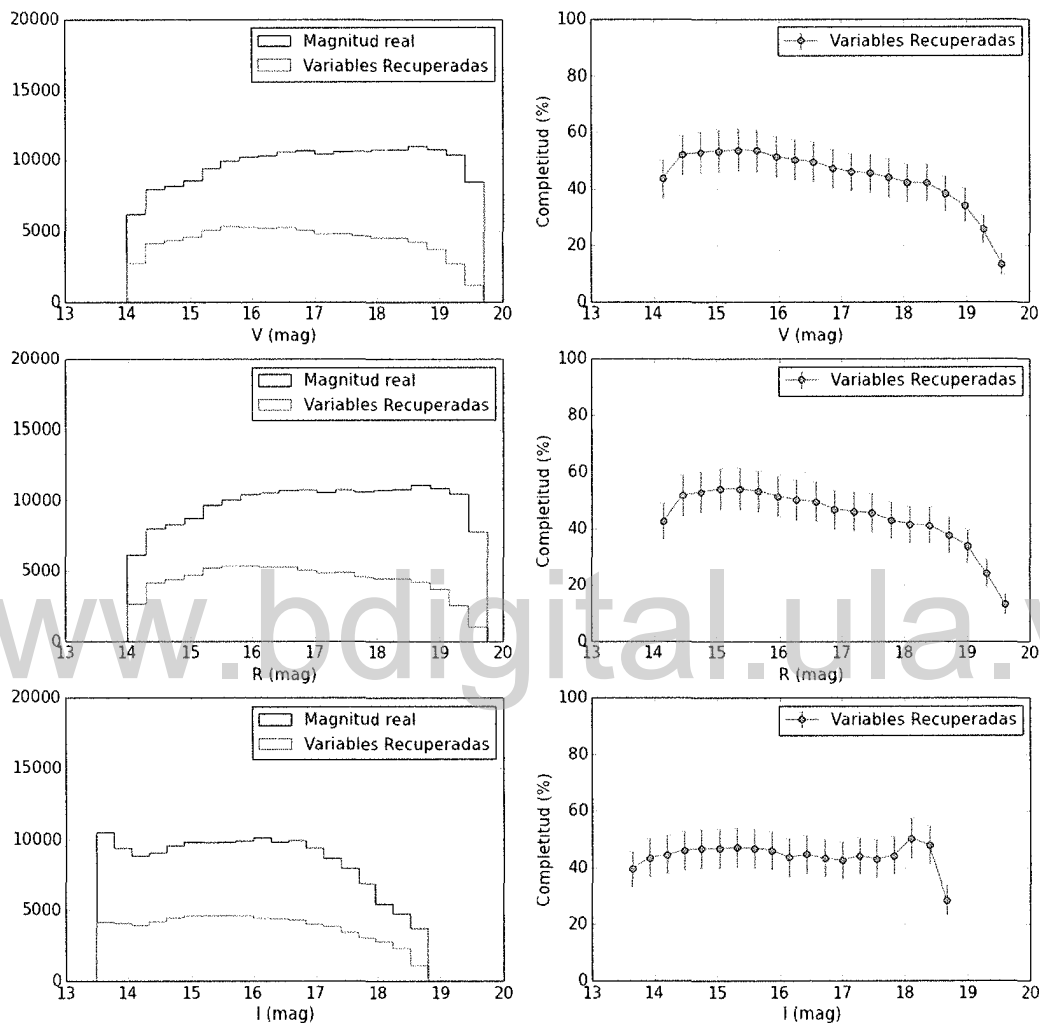


Figura 3.7: Distribución de magnitudes en los distintos filtros (panel izquierdo), completitud versus magnitud en los distintos filtros (panel derecho).

Completitud como función de la amplitud

Recordando que en su mayoría las amplitudes de las binarias tipo EA son mucho mayores que para las binarias EB+EW, estudiaremos dicha dependencia para estos dos grupos, la cual se muestra en la Figura 3.8. La distribución de amplitudes de la población sintética se muestra en la Figura 3.8 representada en color negro. Esta distribución posee un pico en 0.5 magnitudes y una fracción mayoritaria de estrellas con amplitudes menores a ese valor. En color rojo y azul se muestran las distribuciones de las estrellas tipo EA y EB+EW respectivamente, que han sido identificadas como variables y en magenta el total de estrellas identificadas como variables. Nótese que para amplitudes mayores a 1 magnitud, en las cuáles típicamente dominan las binarias tipo EA, la fracción recuperada de éstas es pequeña con respecto a la fracción de EB+EW recuperadas para este rango de amplitudes. Para amplitudes mayores a 3, la completitud total es del 100 %, tal y como se muestra en la figura. Esto era de esperarse pues estrellas con amplitudes mayores poseen índices L de Stetson mayores y su probabilidad de ser identificadas como variables es mayor, tal como se muestra en la Figura 3.6, donde se observa que la completitud es cercana al 100 % para magnitudes por debajo de la completitud, al igual que lo encontrado por Mateu et al. (2012).

Como punto de comparación, podemos citar a Mateu (2011). En dicho trabajo se caracteriza la completitud de la búsqueda de estrellas variables para estrellas RR Lyrae. En particular para las estrellas del tipo RRc, se reporta una completitud de 98 %, las cuales tienen curvas de luz muy similares a las variables tipo EW. Haciendo una selección de aquellas binarias con curvas sinusoidales, con amplitudes entre 0.4 y 0.7 magnitudes y períodos entre 0.26 y 0.405 días característicos de estrellas del tipo RRc, se obtuvo que la completitud media es de 88.2 %. Dicha selección se muestra en la Figura 3.9, donde se observa que la completitud es cercana al 100 % para magnitudes por debajo de la completitud, en concordancia con la completitud de 98 % reportada por Mateu et al. (2012) para objetos más brillantes que $V=18$ mag.

Por otra parte, para la muestra en general, se observa que la completitud media de la identificación de variables en este trabajo es mucho menor a la reportada por Mateu (2011). Esto se debe en primer lugar a que la muestra sobre la cual se está trabajando tiene amplitudes muy pequeñas (0.2 magnitudes) y muy grandes (2 magnitudes), las cuales no logran recuperarse con éxito, mientras que el rango de amplitudes de las RRc está muy bien delimitado (0.4-0.7 magnitudes), rango en el cual el método de Stetson logra recuperar un porcentaje robusto de la muestra tal como se indicó en el párrafo anterior. Por otra parte, como se dijo anteriormente, el porcentaje de estrellas EA recuperadas es mucho menor al de EB+EW lo que hace que la completitud total disminuya. Por ejemplo, para estrellas con amplitudes de

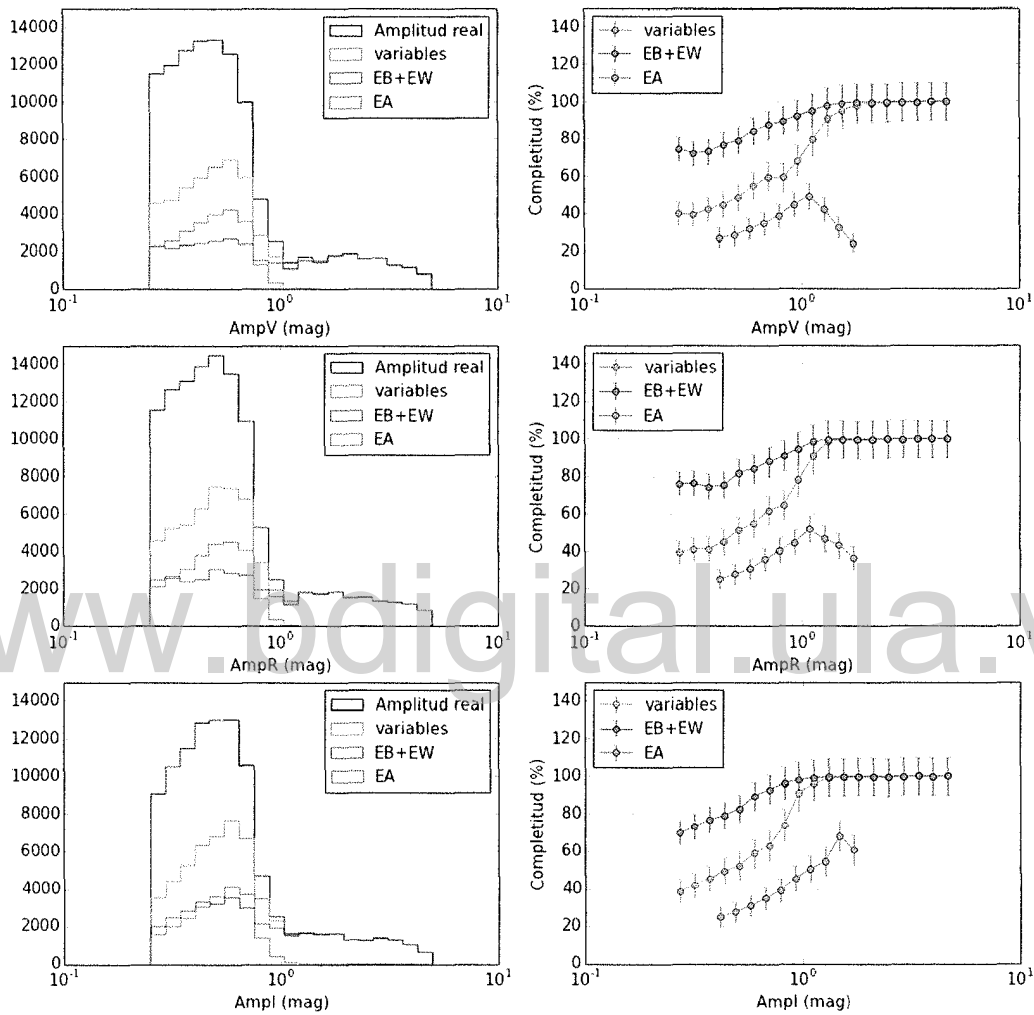


Figura 3.8: Distribución de amplitudes en los distintos filtros (panel izquierdo), completitud versus amplitud en los distintos filtros (panel derecho).

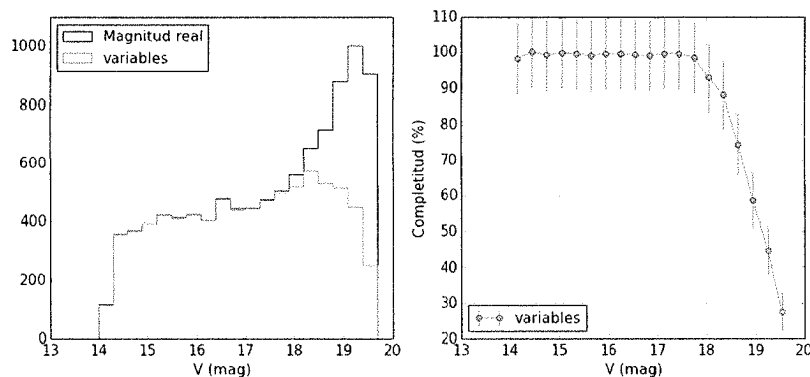


Figura 3.9: Distribución de magnitudes en el filtro V para binarias EW con períodos y amplitudes características de estrellas RRc (panel izquierdo), completitud versus magnitud en el filtro V (panel derecho).

$\sim 0,27$ magnitudes la completitud es de 74.6 % para las tipo EB+EW y para las tipo EA es de 27.2 %, y la completitud total (incluyendo ambos tipos) es de 39.9 %. Para estrellas con amplitudes de ~ 2 magnitudes, la completitud total es de 98.8 % siendo la completitud para las estrellas tipo EB+EW de 99.5 % y para las tipo EA de 13.5 %, nótese que en este caso la baja completitud de las estrellas tipo EA no afecta significativamente la completitud total de estrellas de esa amplitud puesto que la fracción de estrellas tipo EA es muy pequeña comparada con la fracción de estrellas EB+EW recuperadas. Finalmente, para amplitudes de mayores a 4 magnitudes, la completitud para ambos tipos es del 100 %.

A continuación, analizamos el comportamiento de la completitud como función del período de la curva de luz. La Figura 3.10 muestra la distribución de períodos para sistemas EB+EW (azul) y EA (rojo). En el panel izquierdo en color negro se muestran la distribución de períodos de sistemas EB+EW (superior) y sistemas EA (inferior), y en magenta los sistemas EB+EW (superior) y EA (inferior) que han sido identificados como variables. Nótese que la fracción de sistemas EA recuperada es mayor hacia períodos más largos y menor para períodos cortos, donde se encuentra la mayoría de sistemas EA en la población sintética. Para períodos muy cortos (0.03 a 0.6 días), la duración de los eclipses de sistemas EA es muy pequeña por lo que es muy probable que la curva de luz no pueda ser bien muestreada, de modo que si las observaciones no logran muestrear los picos de los eclipses en su totalidad, estas pueden confundirse con ruido, con lo cual hacia este rango de períodos se hace difícil recuperar este tipo de sistemas. Como ejemplo puede observarse en el panel inferior derecho que para $P \sim 0,04$ d ($= 0,96$ h), la completitud es de ~ 7 %, y a medida que el período es mayor, el valor de la completitud aumenta ya que es más factible observar los eclipses, por ejemplo para $P \sim 0,5$

d la completitud es de 32% y para 11 d es de 64%. Por otra parte, los sistemas EB+EW, tienen una completitud mayor, que oscila entre 69.9% para 0.2 d y 99.5% para 0.02 d como puede observarse en el panel superior derecho. En este caso, debido a la forma sinusoidal de las curvas de luz de estos sistemas, es posible identificar como variables una fracción mayor de sistemas con la ayuda del índice K de Stetson que como se dijo usa el conocimiento de curvas de luz de estrellas variables con curvas de este tipo. Esto, aunado a la variación continua de las curvas de los sistemas EB+EW, contribuye a que la completitud de estos sistemas sea mayor, pues en el caso de los sistemas EA, si el eclipse no es bien muestreado, la estrella puede identificarse como no variable.

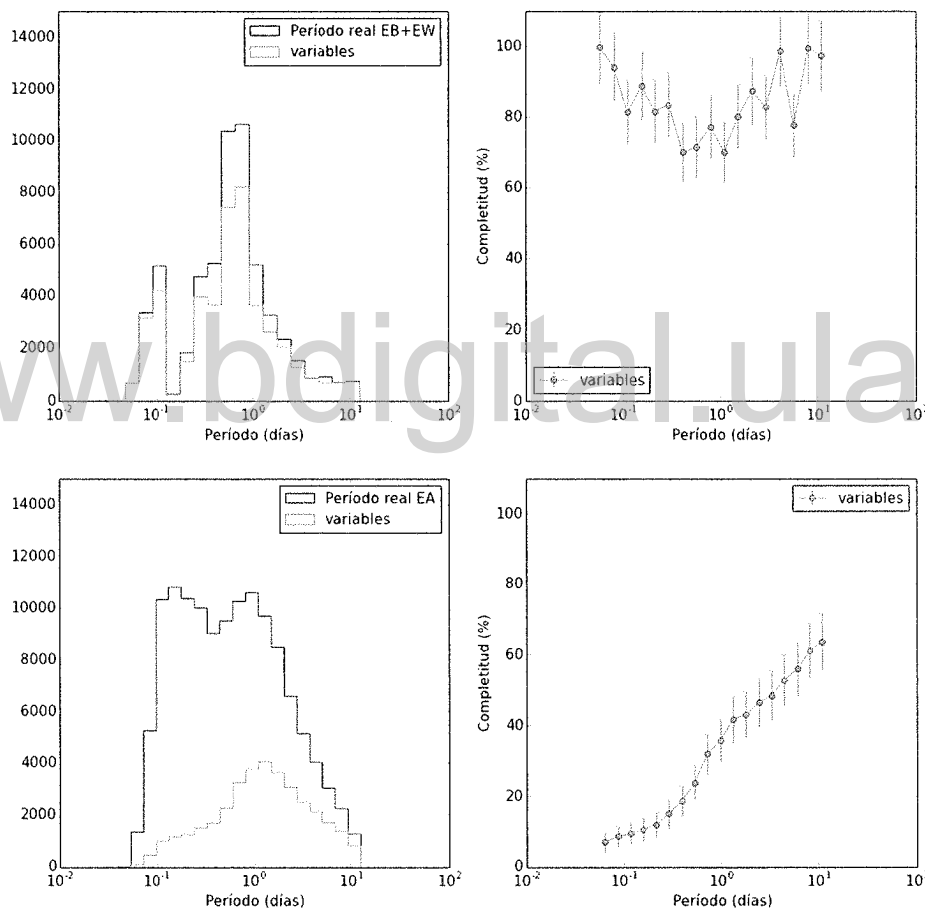


Figura 3.10: Distribución de periodos de binarias EB+EW (panel superior izquierdo), binarias EA (panel inferior izquierdo), completitud versus periodo de binarias EB+EW (panel superior derecho), binarias EA (panel inferior derecho)

3.4.2. Análisis de la recuperación de períodos

En lo que sigue, analizaremos el efecto del muestreo irregular en la recuperación del período y su efecto en la completitud.

El muestreo temporal irregular de las observaciones puede condicionar la aparición de períodos espurios o alias, lo que puede traducirse en que el período recuperado para una variable sea diferente del período real de variación. Según lo descrito por Lafler & Kinman (1965), los períodos espurios Π obedecen a la siguiente relación:

$$\frac{1}{\Pi} = \frac{k}{P} + \frac{1}{p}, \quad (3.14)$$

con P el período real, k un número racional que produce los armónicos de P y p un período externo al muestreo que puede tomar cualquier valor, dependiendo de las condiciones según las que se haya hecho el sondeo. En el caso de QUEST, hay una periodicidad externa de ~ 1 d ya que una misma zona del cielo típicamente se observó solo una vez por noche, en noches consecutivas. Los casos de períodos espurios que resultan dentro del rango típico de períodos de binarias eclipsantes son aquellos más propensos a ser confundidos con el período real y centraremos en ellos nuestro análisis.

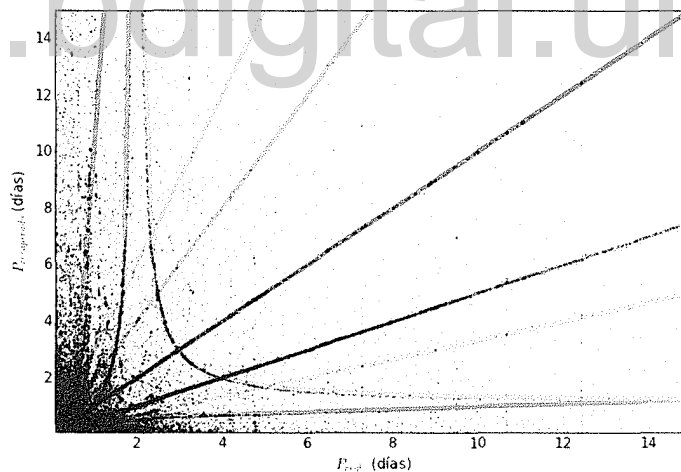


Figura 3.11: Diagrama de período recuperado versus período real de estrellas sintéticas: Períodos recuperados correctamente (rojo), Alias de $\frac{1}{2}$ d y 2 d (amarillo), Alias de $\frac{1}{3}$ d y 3 d (azul), Alias de $\frac{1}{20}$ día y 20 día (magenta), armónicos (naranja y verde agua).

En la Figura 3.11 se muestra un gráfico del período recuperado versus el período real. Los alias preponderantes en la muestra se observan como los loci más poblados en este diagrama.

A diferencia de lo reportado en Mateu (2011) para estrellas RR Lyrae, en este trabajo notamos la presencia de alias de armónicos de 2 d con $k = 1$ y $p = 1$, así como también un locus de suma importancia, el alias de 1/20 d (=3 h). Estos últimos períodos espurios muestran, en la Figura 3.11, una fracción considerable de estrellas. Adicionalmente, se encuentran otros períodos espurios más comunes como lo son alias de 1/3 d y 1/2 d. En el Cuadro 3.2 se muestran los principales alias anteriormente mencionados con sus porcentajes de ocurrencia. Notamos como alias más predominantes, como se muestra en la Figura 3.11, los correspondientes a 1/2 d, 1 d, y los armónicos correspondientes.

Cuadro 3.2: Frecuencia de ocurrencia de los diferentes alias o períodos espurios presentes en la muestra sintética.

Tipo	k	p	Frecuencia(%)	Color
Alias 1-día	1	1	16.7	rojo
Alias 2-día	1	2	4.7	amarillo
Alias $\frac{1}{2}$ -día	1	$\frac{1}{2}$	25.0	amarillo
Alias 3-día	1	3	2.1	azul
Alias $\frac{1}{3}$ -día	1	$\frac{1}{3}$	14.2	azul
Alias $\frac{1}{20}$ -día	1	$\frac{1}{20}$	11.2	magenta
Alias 20-día	1	20	0.05	magenta
Armónicos	-2	$-\frac{1}{3}$	1.8	cian
	4	0.9	6.5	naranja

Los períodos espurios más comunes identificados de esta manera fueron tomados en cuenta en la inspección visual de las curvas de luz durante la búsqueda de binarias eclipsantes en el catálogo real (Sección 3.3.2).

3.4.3. Completitud de la identificación de binarias eclipsantes

Se calcularon los períodos de las binarias eclipsantes de la biblioteca sintética, aplicando el procedimiento descrito en la sección anterior sobre aquellas estrellas identificadas como variables al inicio de este capítulo y se observó como varía la completitud en función de los períodos y magnitudes en distintos rangos de amplitudes. También se estudió el comportamiento de la completitud como función de la distribución espacial del sondeo.

En la Figura 3.12 en el panel izquierdo se muestra en color negro la distribución de magnitudes correspondientes a los objetos cuyos períodos han sido recuperados. Tomando en cuenta que el pico de la distribución de amplitudes de la población se encuentra en 0.5 mag

y que entre 0.2 y 0.8 mag hay una gran fracción de sistemas y, considerando además, que en este rango de amplitudes es comparable con el rango de las RR Lyrae para las cuáles fue diseñado el método anterior, era de esperar que este rango de amplitudes domine la distribución, como se muestra en naranja para amplitudes entre 0.2 y 0.5 mag y en rojo para amplitudes entre 0.5 y 1 mag. Por otra parte, para estrellas con amplitudes mayores a 1 mag, se muestra una caída en la distribución, lo cual es debido a que en este rango de amplitudes se encuentran sistemas tipo EA, en especial aquellos sistemas con magnitudes medias cercanas a la saturación (al igual que cercanas al límite) son ruidosas porque se ven truncadas, lo que impide su recuperación. Considerando que la fracción de sistemas con amplitudes mayores a 1 mag ($\sim 10\%$) es mucho menor a la fracción de sistemas con amplitudes menores procedemos a calcular la completitud en diferentes rangos de amplitud. En el panel derecho, se muestra la completitud en función de la magnitud, para los filtros disponibles en el sondeo: V (superior), R (central) e I (inferior). Para los tres rangos, se muestra que la completitud disminuye monótonamente para objetos más débiles, tal y como se muestra en los tres bins de amplitud con el mismo código de colores del panel izquierdo.

Tomando en cuenta las amplitudes y períodos típicos de los sistemas EB, EW y EA, se estudió la dependencia de la completitud. Dado el amplio rango de búsqueda considerado para el presente trabajo, se realizó el estudio en dos partes: períodos cortos y períodos largos. Conservando el mismo código de colores de la Figura 3.12, se muestra en la Figura 3.13 en el panel izquierdo la distribución de períodos recuperados menores a 1 día para los tres rangos de amplitud anteriormente mencionados. Considerando las fracciones de los distintos sistemas, tal y como se mencionó durante el análisis de la distribución de magnitudes, puede observarse que para amplitudes mayores a 1 mag dominan la distribución alrededor de un día. Esto se debe a que los sistemas EA se encuentran presentes en este rango de períodos, siendo sistemas EA con períodos cortos pero con amplitudes típicas de este tipo de sistema. Tal y como se esperaba, hacia períodos cercanos a 0.1 días se encuentran estrellas con amplitudes menores a una magnitud, rango en el que dominan los sistemas EB+EW. Esto puede verse en el panel izquierdo de la Figura 3.13, en el cual se muestra esta distribución en escala logarítmica para poder apreciar en detalle la bimodalidad de la distribución. En el panel del medio se muestra la escala lineal, en la cual se puede observar nuevamente este comportamiento. Concluimos que para períodos mayores a 0.5 d y amplitudes mayores a 1 mag, se alcanza la completitud más alta. Por otra parte la completitud más baja en todo este rango de períodos es la correspondiente a magnitudes entre 0.2 y 0.5 mag como se muestra en el panel derecho.

Para períodos mayores a 1 día la distribución de períodos recuperados se muestra en la

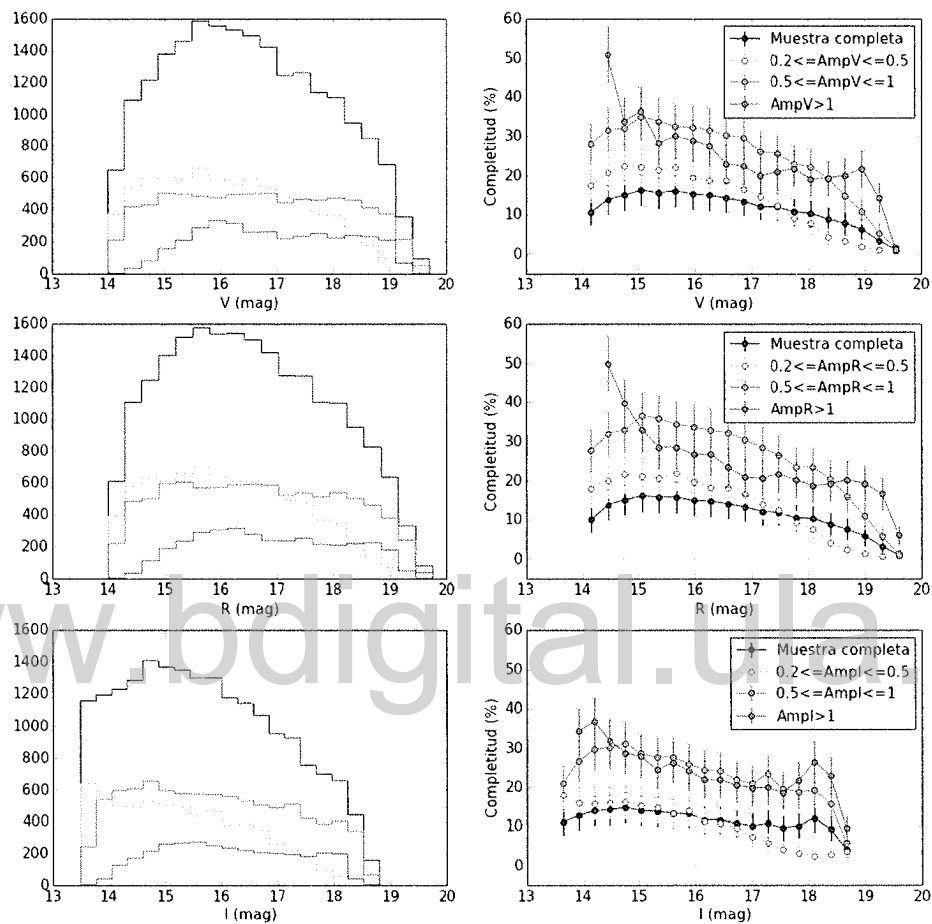


Figura 3.12: Distribución de magnitudes de la población de binarias eclipsantes (negro), de estrellas con amplitudes entre 0.2 y 0.5 magnitudes (naranja), de estrellas con amplitudes entre 0.5 y 1 magnitudes (rojo), de estrellas con amplitudes mayores a 1 magnitud (azul), en el panel derecho se muestra la completitud en función de la magnitud para los distintos rangos de amplitud.

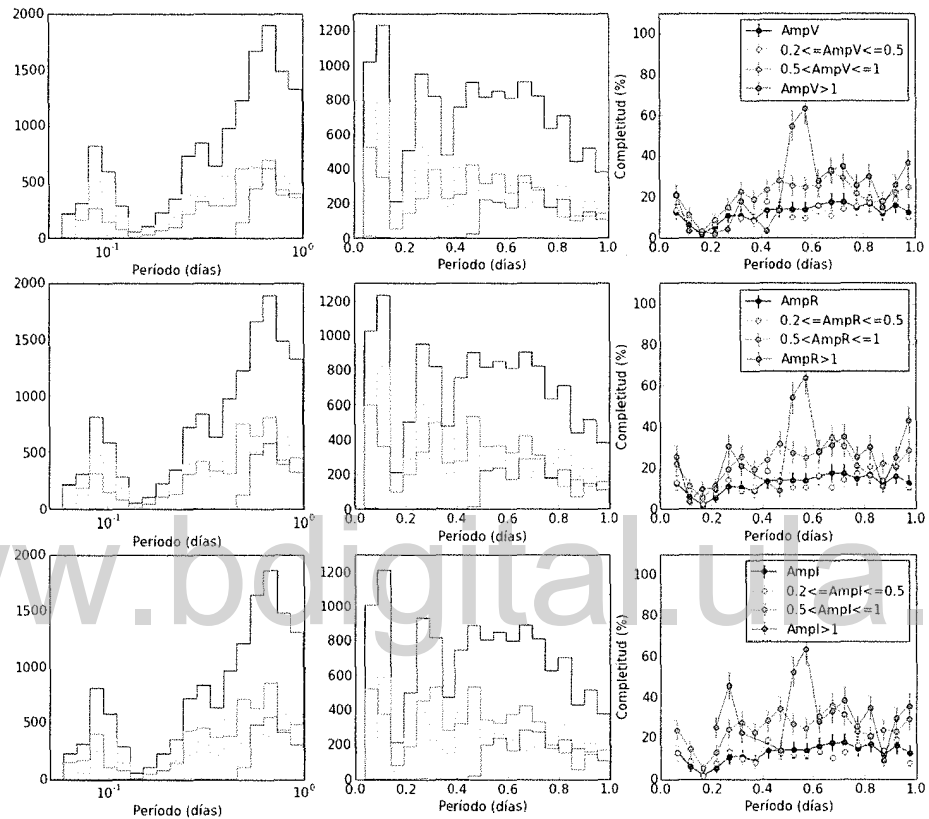


Figura 3.13: Distribución de períodos menores a un día de la población de binarias eclipsantes (negro), de estrellas con amplitudes entre 0.2 y 0.5 magnitudes (naranja), de estrellas con amplitudes entre 0.5 y 1 magnitudes (rojo), de estrellas con amplitudes mayores a 1 magnitud (azul), en el panel derecho se muestra la completitud en función del período para los distintos rangos de amplitud

Figura 3.14, manteniendo el código de colores de las figuras anteriores. Puede observarse en todo el rango de períodos la presencia de sistemas con amplitudes mayores a 1 magnitud, como era de esperarse. Se observa la presencia de estrellas con amplitudes menores a 1 magnitud como se muestra en la panel izquierdo, las cuales pueden corresponder a sistemas EA con amplitudes pequeñas o sistemas EB. Considerando que para períodos mayores a un día no es posible poseer un buen muestreo en las curvas de luz, con lo cual no pueden observarse los eclipses, era de esperarse que para amplitudes menores a 0.5 magnitudes la completitud sea la más baja. Puede observarse que para amplitudes mayores a una magnitud, la completitud (panel derecho) es menor que la completitud para este mismo rango de amplitudes para estrellas con períodos menores, lo que se debe a la misma razón. Puede observarse un pico en el diagrama de completitud versus período para sistemas con amplitudes mayores a 1 mag, el cual puede, presumiblemente, deberse a que se tienden a confundir las estrellas EA por la aparición de períodos espurios, asociados a la periodicidad de un día.

Considerando que el muestreo temporal del sondeo es irregular, queremos ver cómo varía la completitud de la búsqueda de binarias eclipsantes en las distintas regiones. En la Figura 3.15 se muestra la completitud en función de la distribución espacial de QUEST. Se observa que, en los extremos del sondeo, la completitud es la más baja como se observa en las zonas con declinaciones mayores a $+5^\circ$ y menores a -5° . En esta última, al igual que para la zona $-2^\circ \leq \delta \leq 0^\circ$ y $60^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$, el número de observaciones es el menor para el sondeo y, además, no se cuenta con observaciones en R e I (Mateu, 2011). Por otra parte, para la zona $-4^\circ \leq \delta \leq -2^\circ$ y $\alpha \geq 70^\circ$, la completitud es mayor que en las zonas anteriores. Cabe acotar que en esta zona el número de observaciones en los distintos filtros es mayor que en el caso de la región anterior. Finalmente, la completitud más alta es alcanzada para la región $1.5^\circ \leq \delta \leq 2^\circ$ y $70^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Esta zona tiene el mayor número de observaciones para los tres filtros (típicamente > 100 observaciones por filtro). Concluimos así que la completitud cambia en función del número de observaciones disponibles en cada región del sondeo, tal y como se esperaba, pues al contar con menor número de observaciones, las curvas de luz de los sistemas sobre los cuales se hace el cálculo de períodos no se encuentran bien muestreadas, lo que impide que sus períodos sean recuperados y que, finalmente, no puedan ser correctamente identificados como binarias eclipsantes.

3.4.4. Resumen del Análisis de la Completitud

Hemos descrito el análisis detallado que se realizó para caracterizar la completitud de las binarias eclipsantes en dos etapas: identificación como estrellas variables (Sec. 3.2) e

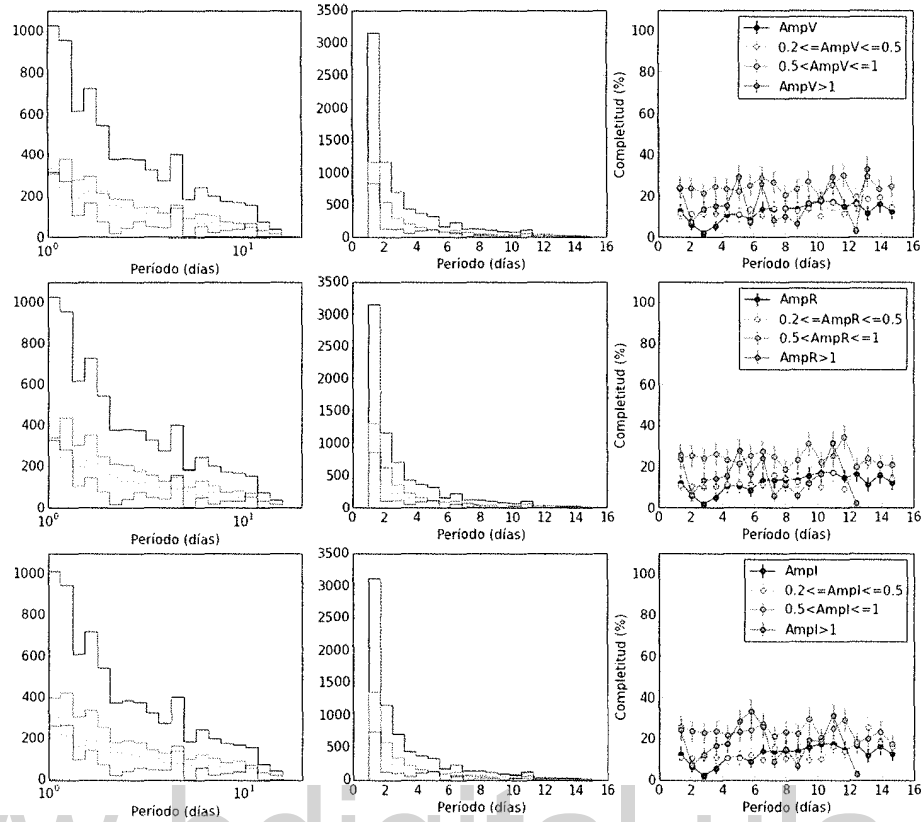


Figura 3.14: Distribución de períodos mayores a un día de la población de binarias eclipsantes (negro), de estrellas con amplitudes entre 0.2 y 0.5 magnitudes (naranja), de estrellas con amplitudes entre 0.5 y 1 magnitudes (rojo), de estrellas con amplitudes mayores a 1 magnitud (azul), en el panel derecho se muestra la completitud en función del período para los distintos rangos de amplitud

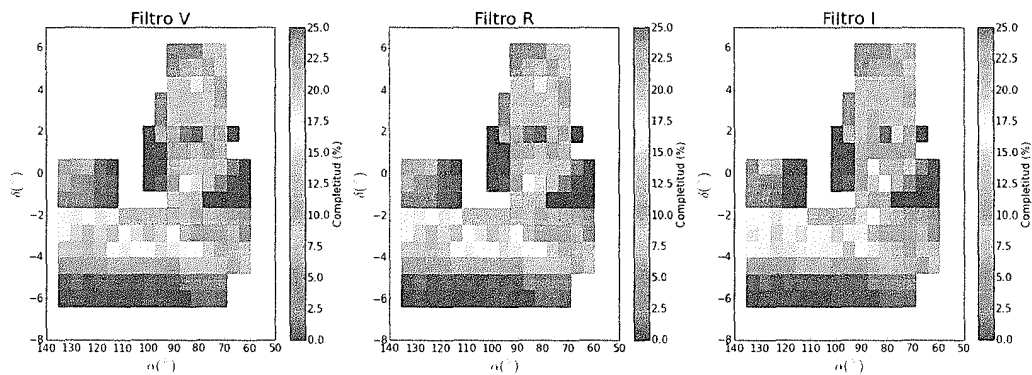


Figura 3.15: Distribución espacial en coordenadas ecuatoriales en función de la completitud de estrellas sintéticas.

identificación como binarias eclipsantes y recuperación del período. A continuación, hacemos un resumen de las principales características de la completitud del sondeo QUEST de binarias eclipsantes:

- Encontramos que la completitud media de la identificación de estrellas variables es $\sim 50\%$ para magnitudes V, R hasta $\sim 16,5$ mag, decayendo hasta $\sim 20\%$ para la magnitud límite V, R ~ 19 mag
- La completitud en la identificación de variables para amplitudes $\sim 0,25$ mag es de 74.6% para los sistemas EB+EW y de 27.2% para los sistemas EA, y la completitud total incluyendo ambos tipos es de 39.9% . Para estrellas con amplitudes mayores a 2 magnitudes, la completitud total es de 98.8% siendo la completitud para la estrellas tipo EB+EW de 99.5% y para los sistemas tipo EA de 13.5% . La completitud de los sistemas EA en este rango de amplitudes no afecta considerablemente la completitud total pues para este rango de amplitudes la cantidad de sistemas EA es pequeña en comparación con el número de sistemas EB+EW.
- Analizando el comportamiento de la completitud como función del período, vemos que esta es aproximadamente constante para binarias con amplitudes < 1 mag. Para sistemas binarios con amplitudes mayores, se observa un pico situado en $\sim 0,5d$, presumiblemente debido la aparición de períodos espurios.

www.bdigital.ula.ve

Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo principal la búsqueda y caracterización de la población de binarias eclipsantes en el sondeo de estrellas variables a baja latitud galáctica de QUEST (Mateu et al., 2012). La búsqueda de binarias eclipsantes fue hecha siguiendo el procedimiento descrito en Mateu (2011) y adaptado para el fin de este trabajo. Una de las limitantes en dicha búsqueda fue la recuperación de sistemas con amplitudes muy pequeñas (menores a 0.2 mag) y períodos muy cortos (menores a 0.04 días) o muy largos (mayores a 15 días). La estimación de la caracterización fue realizada sobre una población sintética de binarias eclipsantes que fue simulada por la herramienta ELLISA, que es única en su clase, pues a diferencia de otras herramientas encontradas en la literatura, esta simula las curvas de luz de toda una población de binarias eclipsantes. Los resultados de este trabajo se resumen a continuación:

- Se desarrolló la herramienta computacional ELLISA para simular curvas de luz de una población de binarias eclipsantes, cuyas entradas son la edad de la población a simular, la metalicidad, el número de estrellas binarias, el tipo de población galáctica, el muestreo temporal y las curvas de error versus magnitud. Dicho simulador puede generar una biblioteca sintética para cualquier sondeo a partir de un conjunto arbitrario de filtros del sistema Johnson-Cousins o HST.
- De la búsqueda de binarias eclipsantes se obtuvieron 1125 candidatas, constituidas por 179 EA, 60 EB y 886 EW, que corresponden a 15.9%, 5.3% y 78.8% del catálogo total de binarias eclipsantes respectivamente. La presencia de sistemas EB+EW con amplitudes mayores a 0.5 magnitudes es notable. Los sistemas EB+EW dominan en el rango de períodos menores a 1 día y el rango de períodos mayores a un día es dominado por sistemas EA. Todo esto es consistente con lo reportado en otros catálogos de binarias eclipsantes como ASAS, OGLE y GCVS, así como con las propiedades de la población simulada.

- La completitud fue caracterizada estimando la fracción recuperada de binarias eclipsantes sobre la muestra sintética. Dicha completitud fue analizada en función de los distintos parámetros físicos. Del estudio realizado, se concluyó que la amplitud es el parámetro que más afecta la completitud. La completitud más alta es alcanzada por estrellas con amplitudes mayores a 0.5 mag y períodos menores a 1 día, para las que se obtuvo una completitud promedio de $\sim 35\%$. Por otra parte, esta medida es directamente afectada por la irregularidad en el muestreo temporal del sondeo, puesto que como se pudo observar, la completitud más baja de la búsqueda de binarias eclipsantes corresponde a las regiones con menor número de observaciones. Igualmente se observó que la completitud media de la identificación de estrellas variables es de $\sim 43,8\%$, siendo esta la raíz de la completitud relativamente baja obtenida en la recuperación de las binarias eclipsantes

3.5. Trabajos Futuros

- Considerando la importancia de ELLISA para el estudio de poblaciones de binarias eclipsantes para distintos fines, se espera incluir la opción para simular una población estelar simple de edad y metalicidad cualquiera, así como también una población estelar compuesta con una tasa uniforme de formación estelar entre límites de edad suministrados por el usuario.
- Puesto que ELLISA ha sido diseñado para simular curvas de luz tipo Algol para sistemas con eclipses totales, se pretende extender la parametrización aquí propuesta para incluir estrellas con curvas de luz tipo Algol con eclipses anulares, los cuales ocurren cuando los radios de ambas componentes son muy diferentes y en el mínimo se muestra un eclipse plano y no un pico como es el caso de los eclipses totales.
- Se pretende ampliar el rango de inclinaciones para la simulación de curvas de luz de estrellas tipo Algol para aquellos sistemas que no se encuentran totalmente de canto ($i = 90^\circ$) para así poder estudiar el efecto de la inclinación.
- Se espera poder incluir a ELLISA un simulador de curvas de velocidad de radial para las binarias eclipsantes que sean simuladas, lo cual es de gran utilidad pues a partir de dichas curvas es posible calibrar los métodos para la obtención de parámetros físicos

como masas y radios estelares.

- Hacer un estudio de las variaciones de las propiedades de poblaciones sintéticas de binarias eclipsantes para distintas edades, i.e., cómo cambian la fracción de estrellas de cada tipo, distribución de períodos, amplitudes, entre otros.

www.bdigital.ula.ve

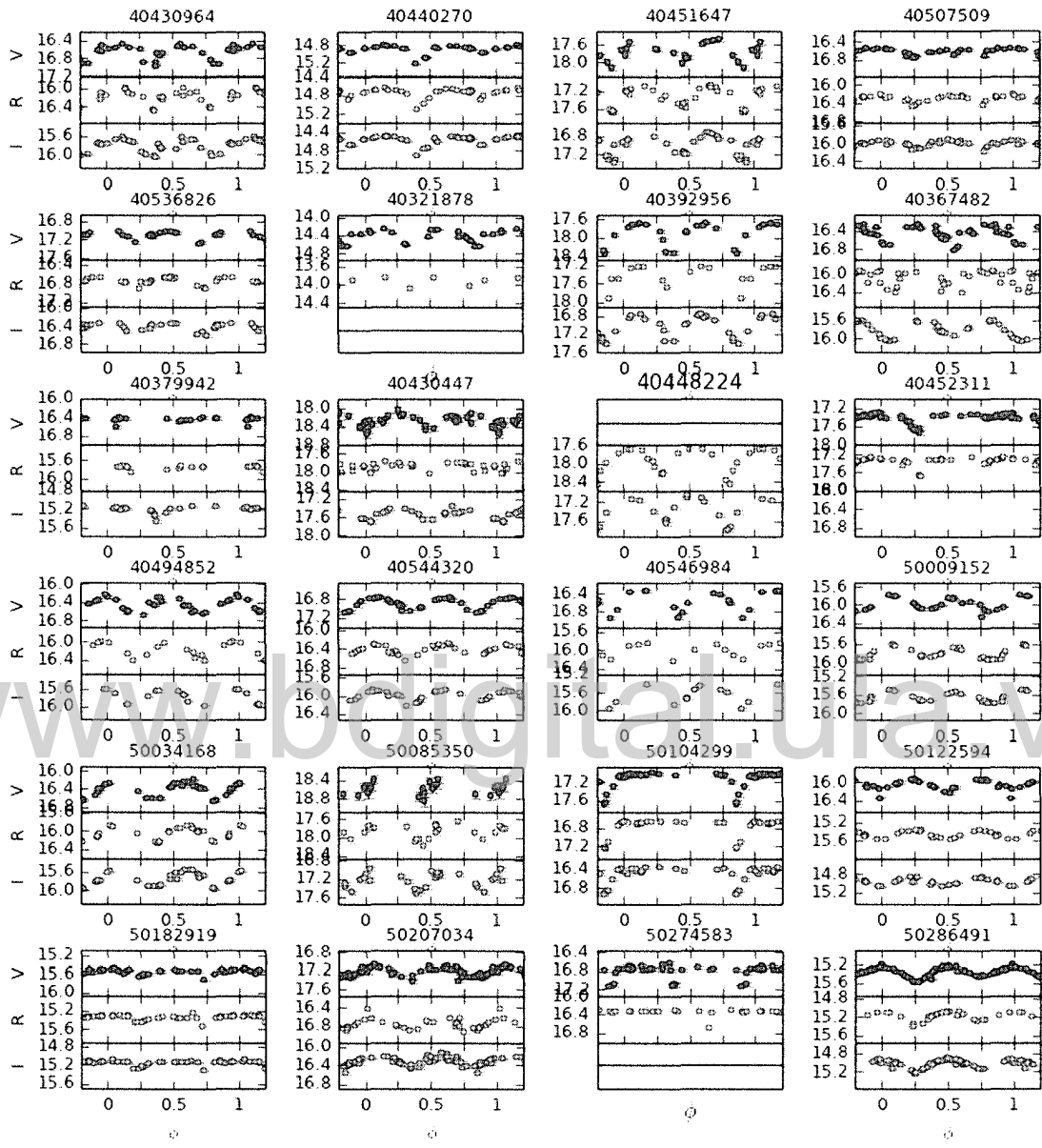
www.bdigital.ula.ve

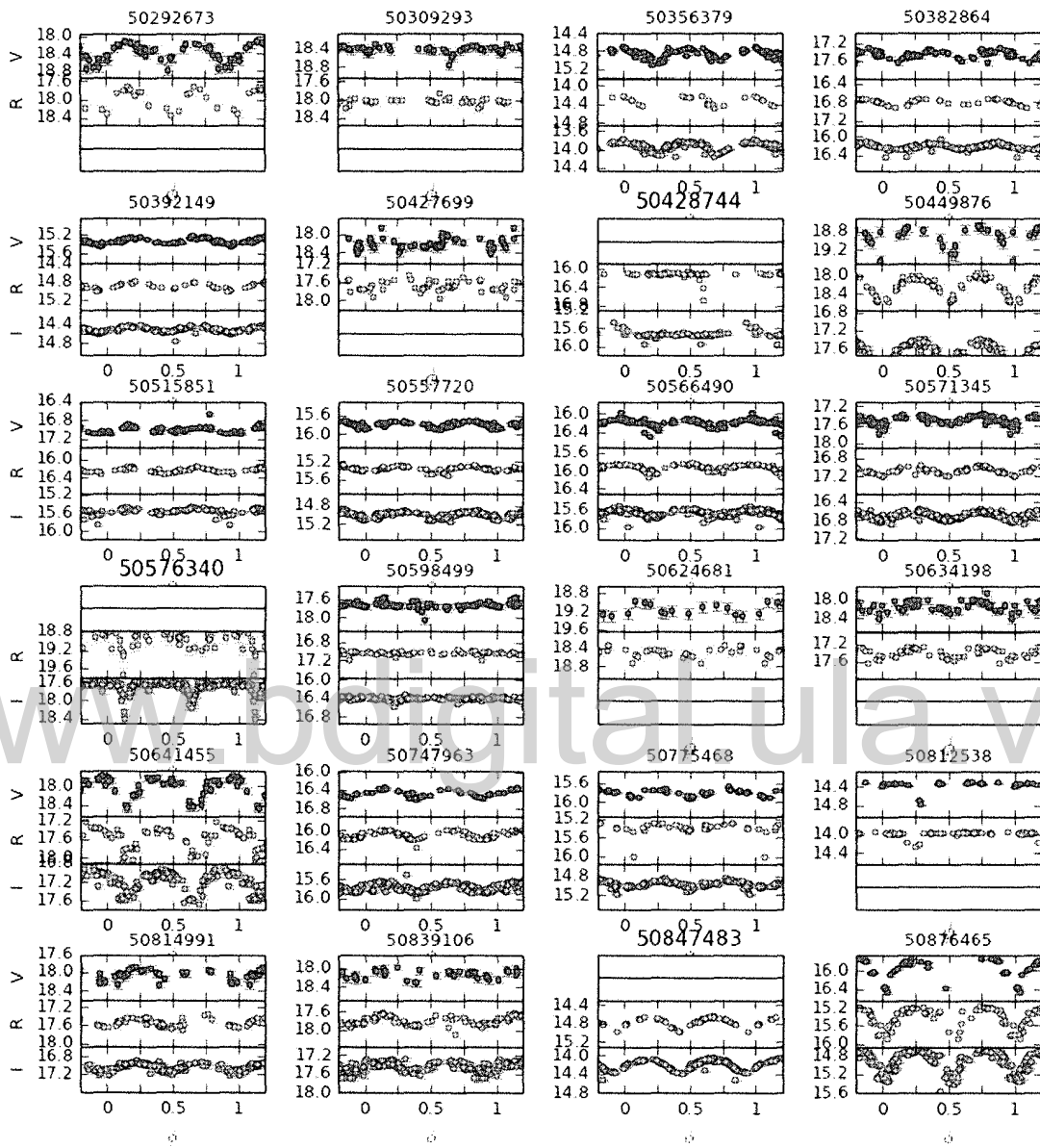
Apéndice A

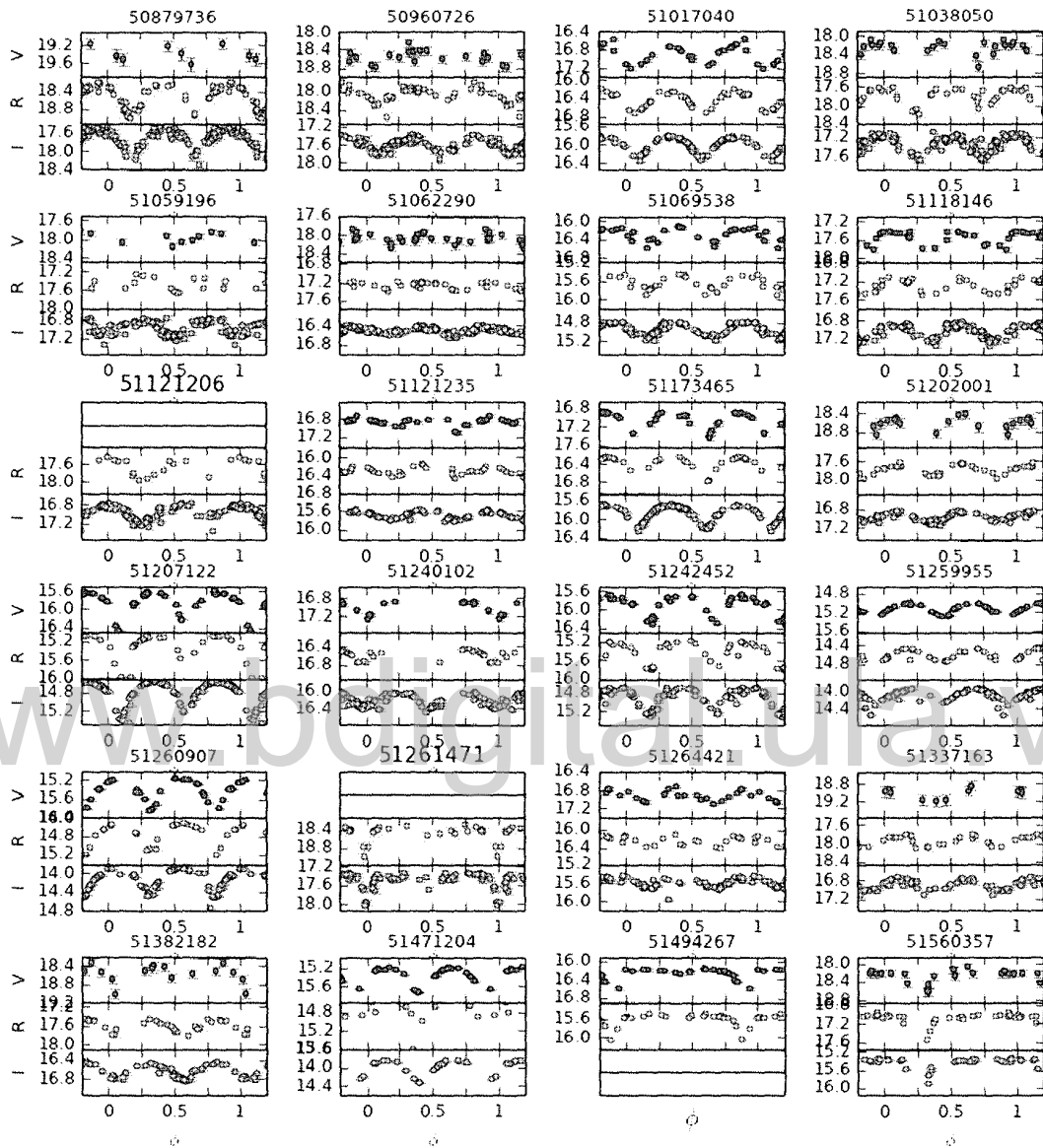
Curvas de luz

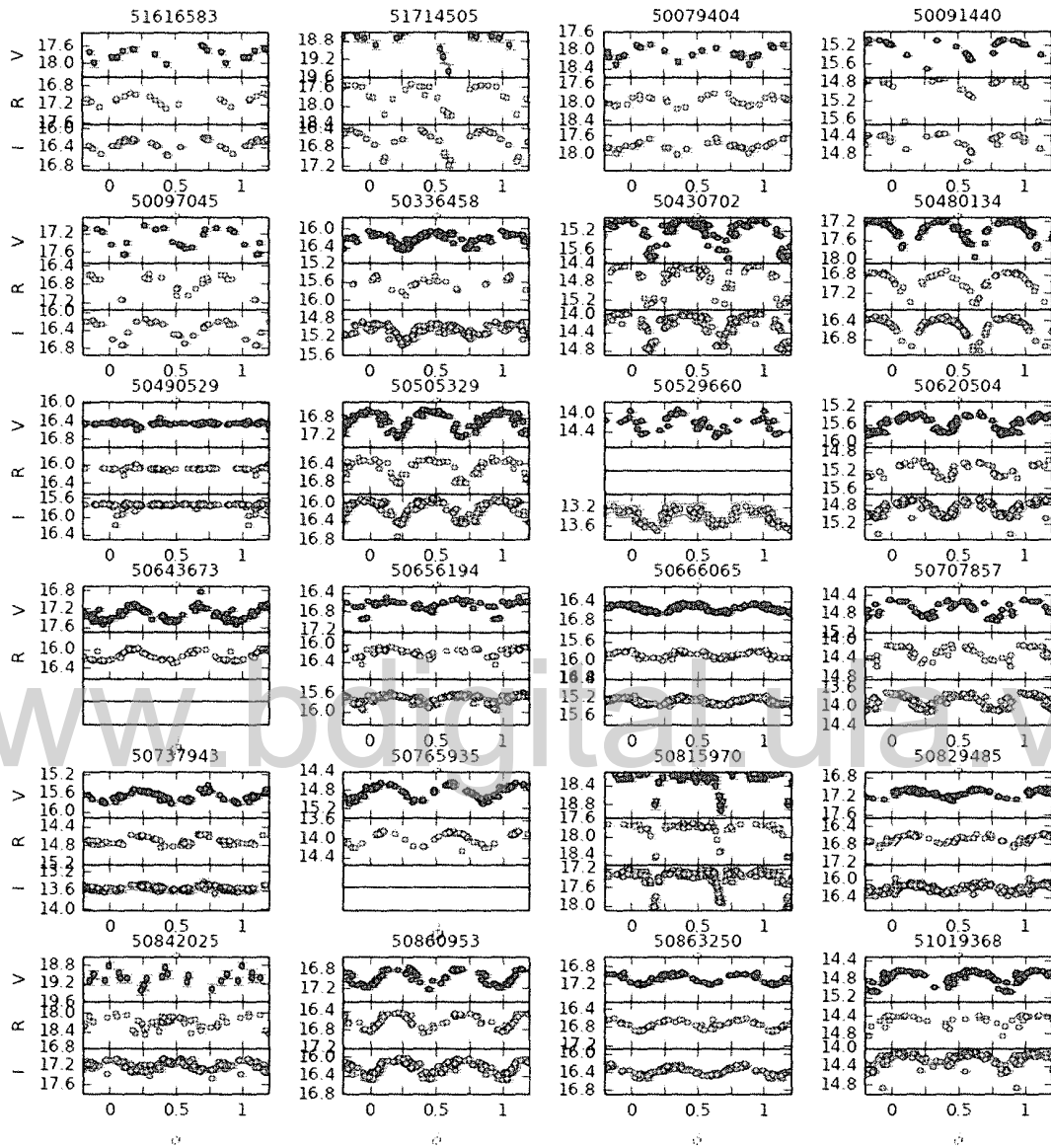
En este apéndice, se muestran las curvas de luz del catálogo de binarias eclipsantes del sondeo de estrellas variables de QUEST.

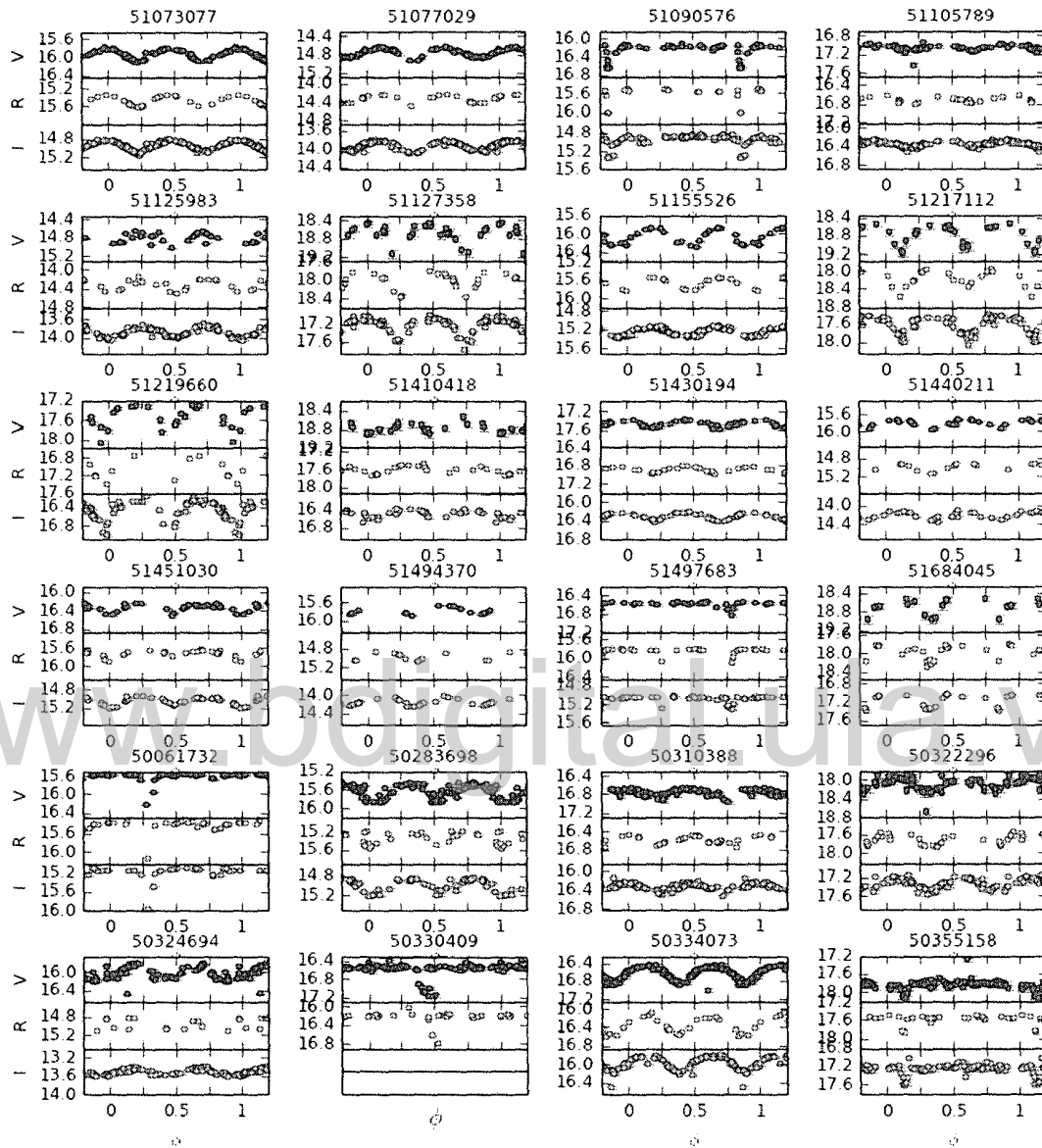
www.bdigital.ula.ve

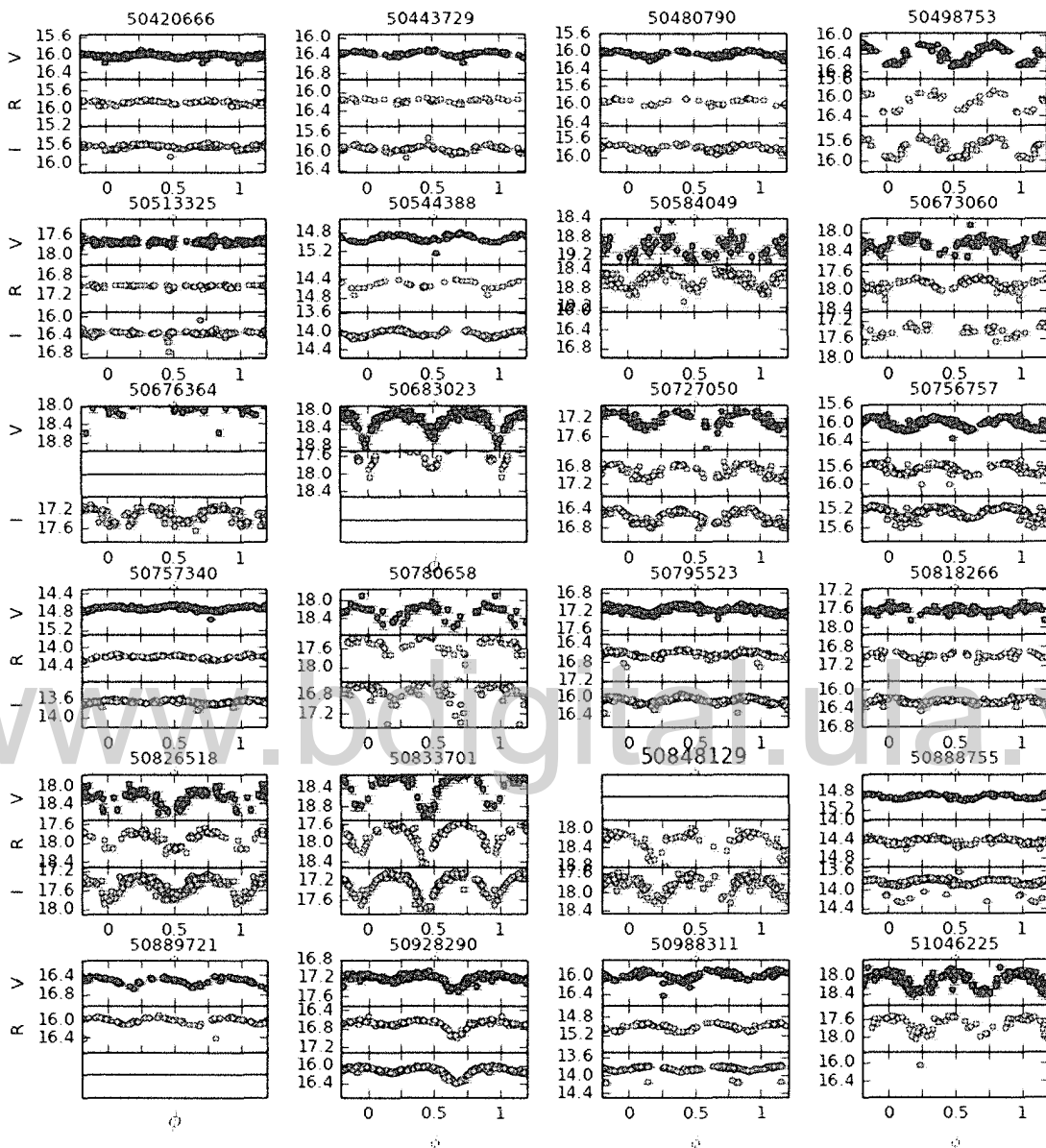


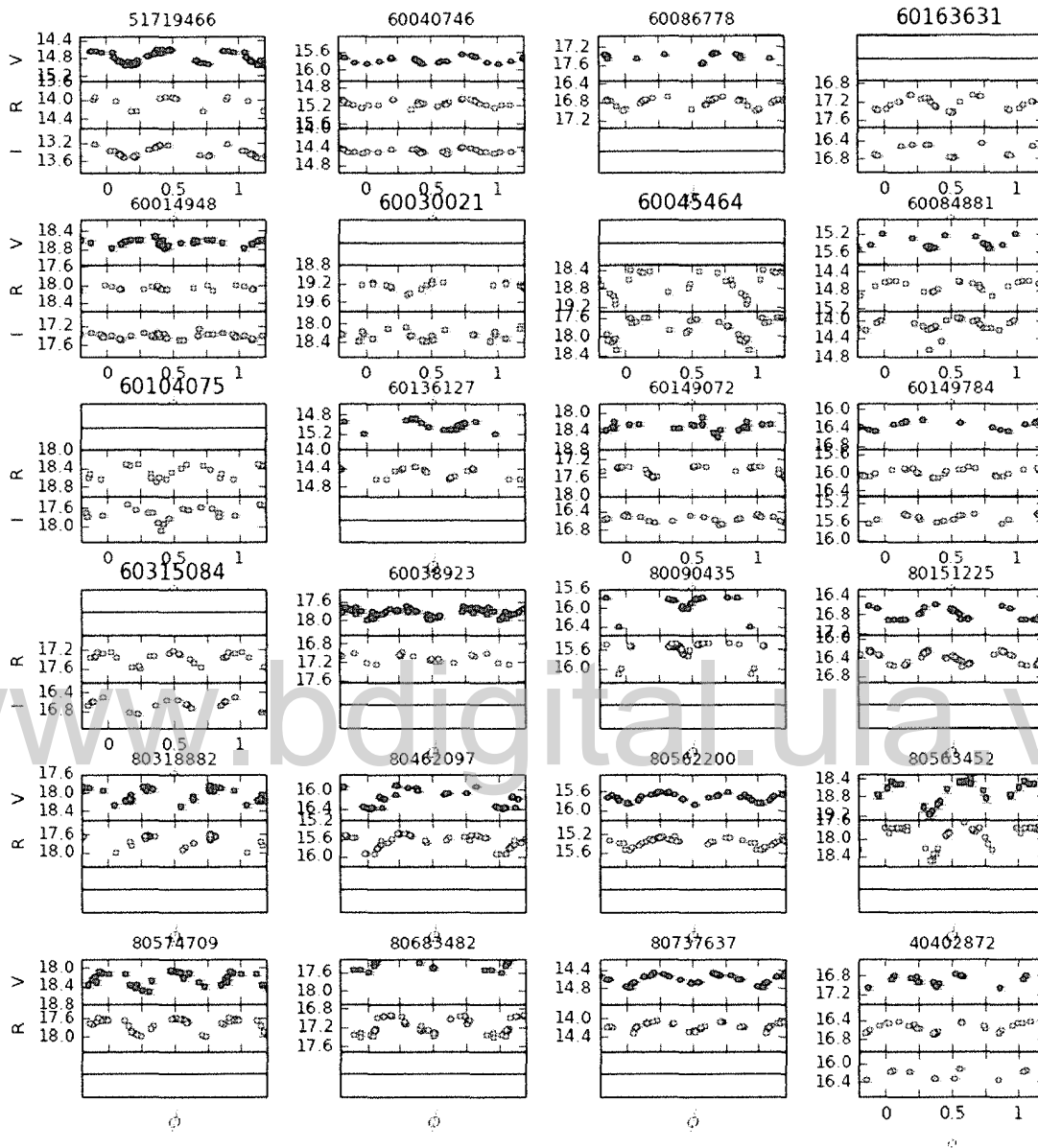


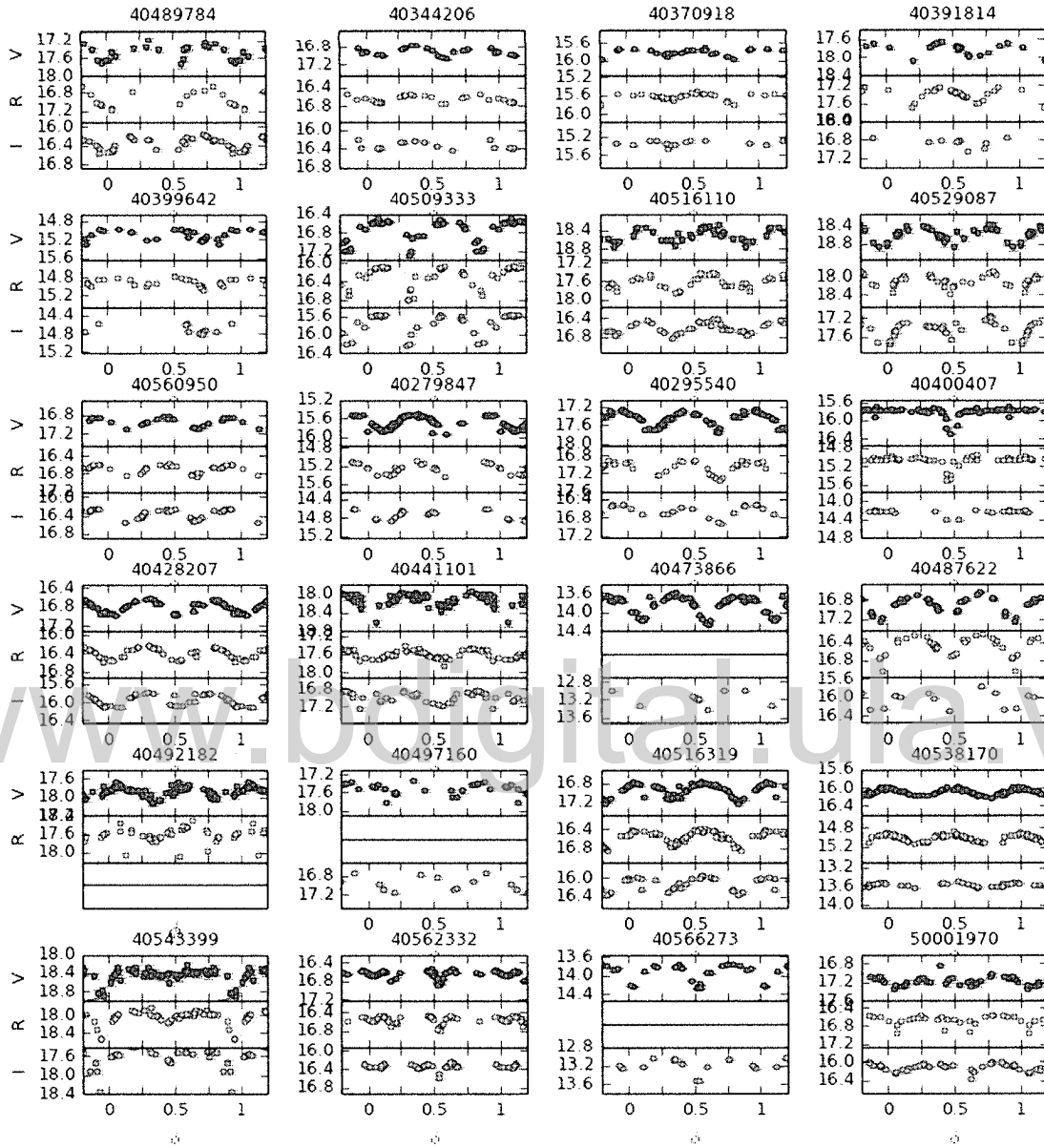


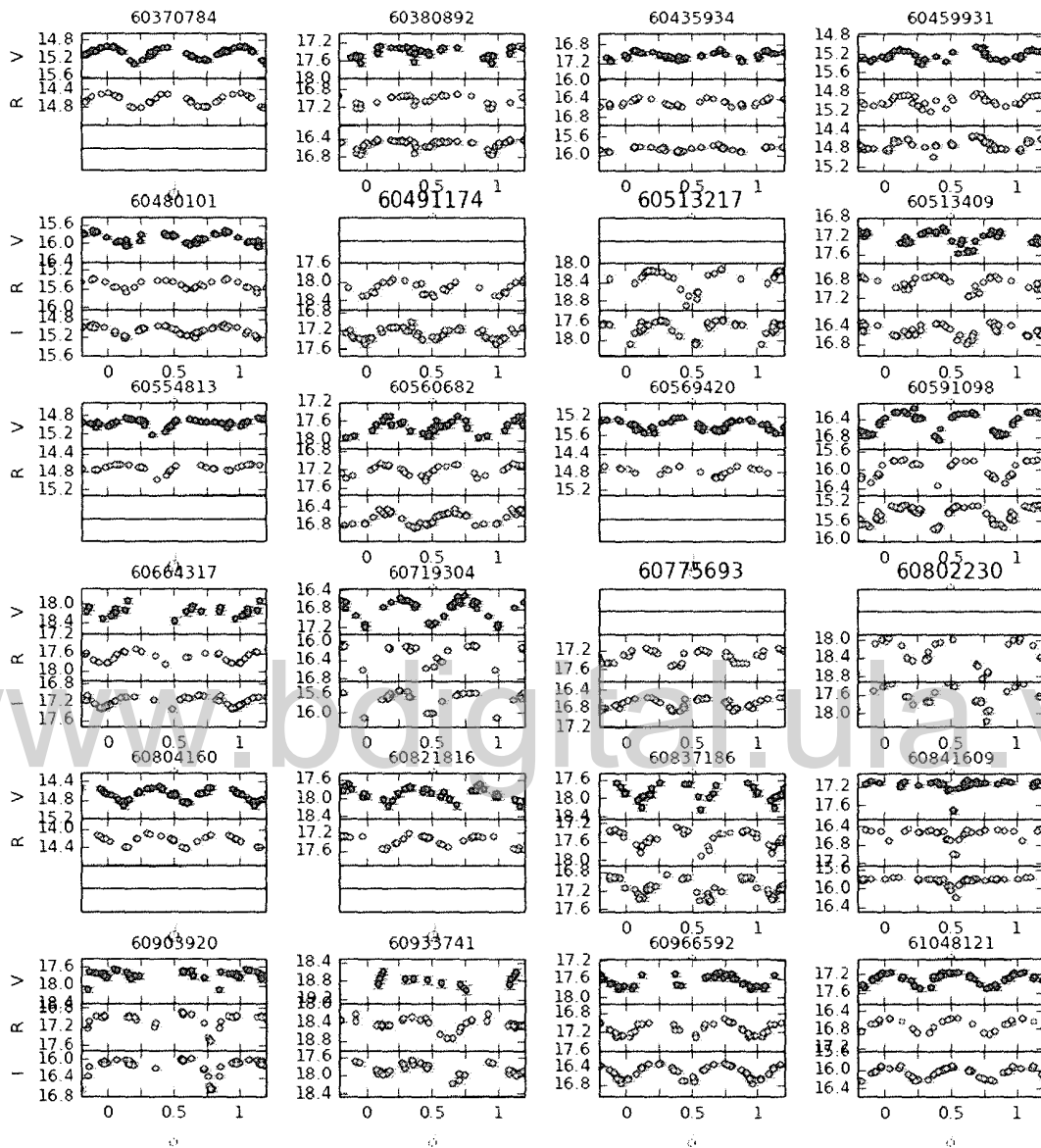


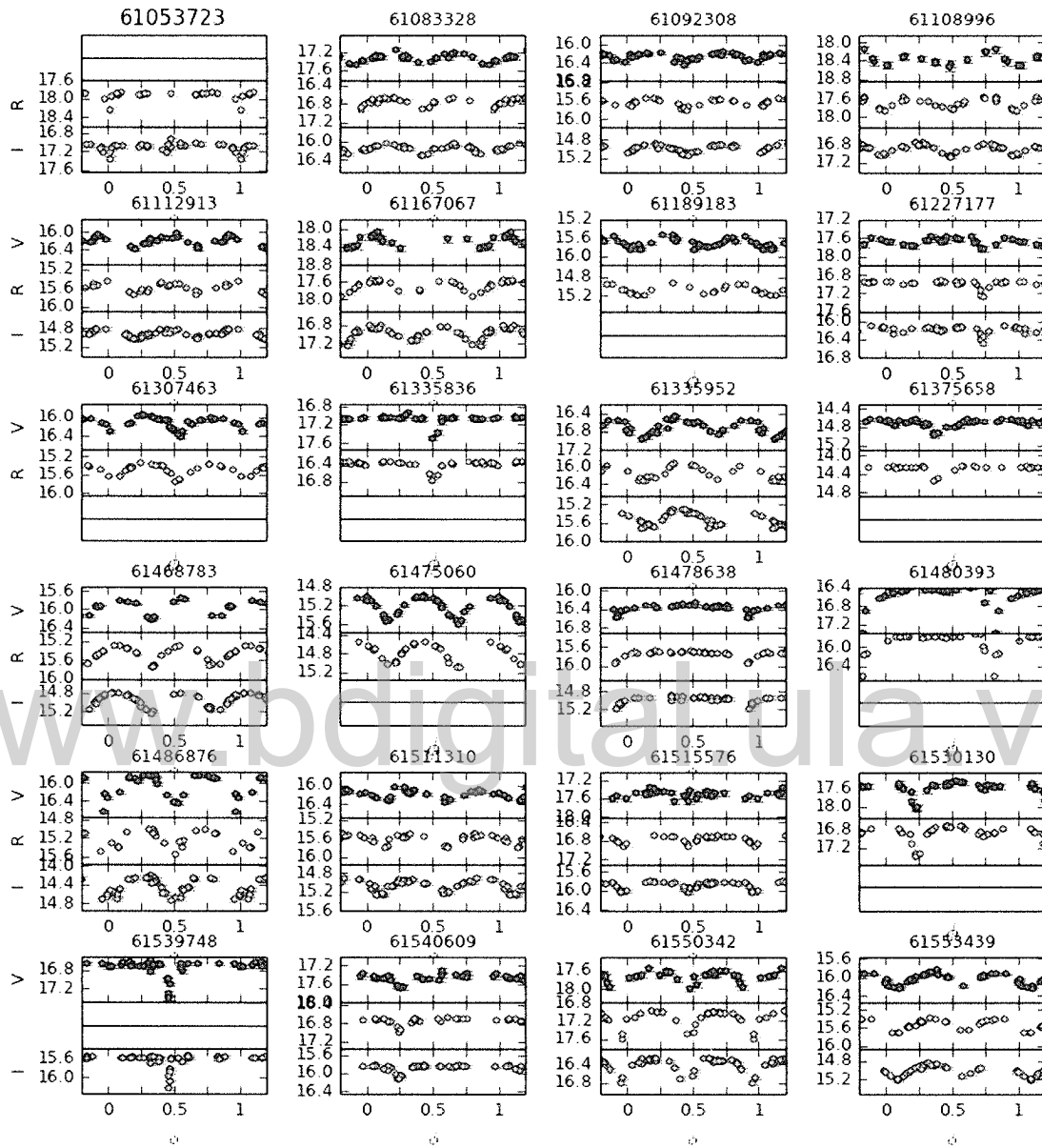


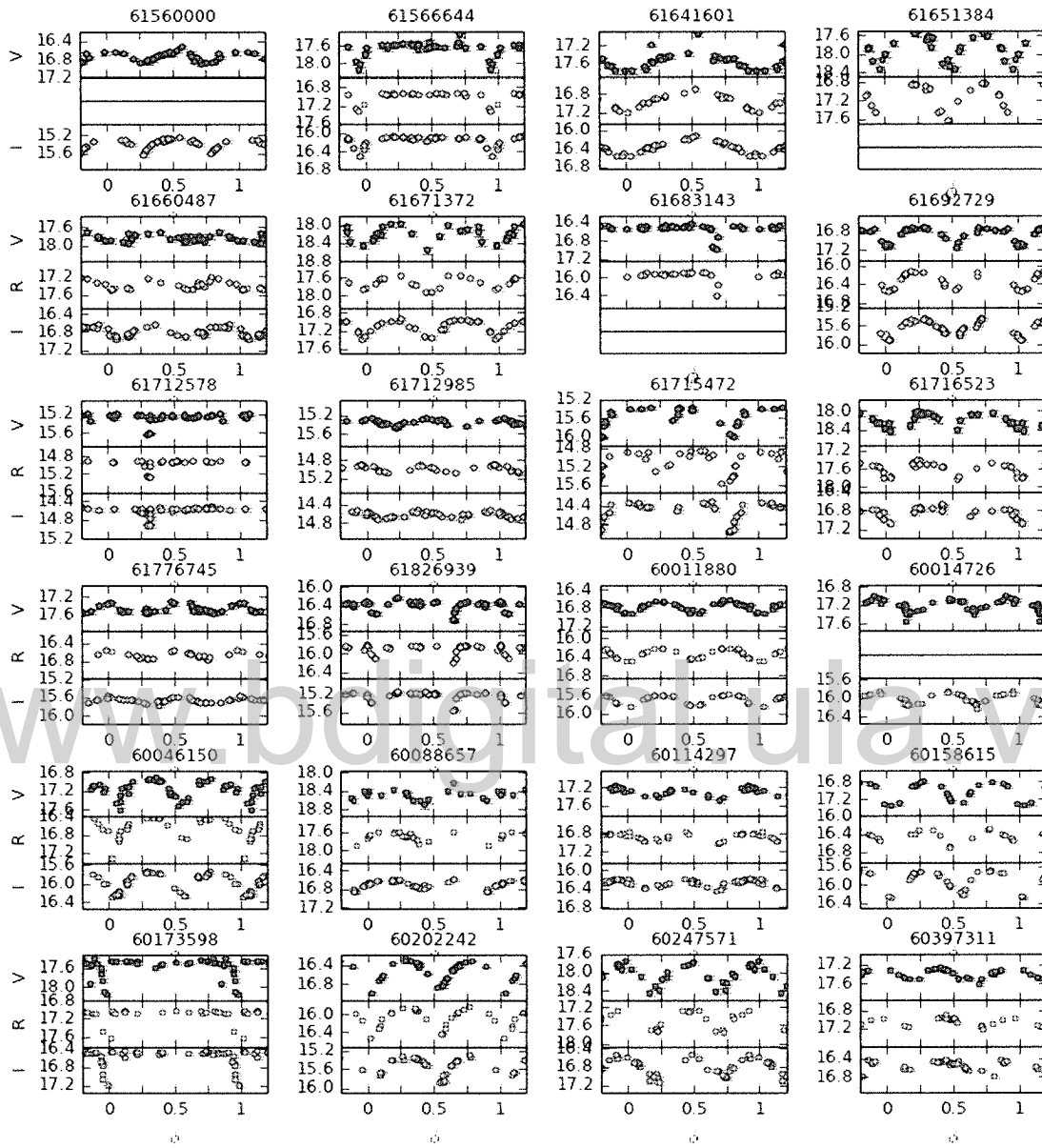


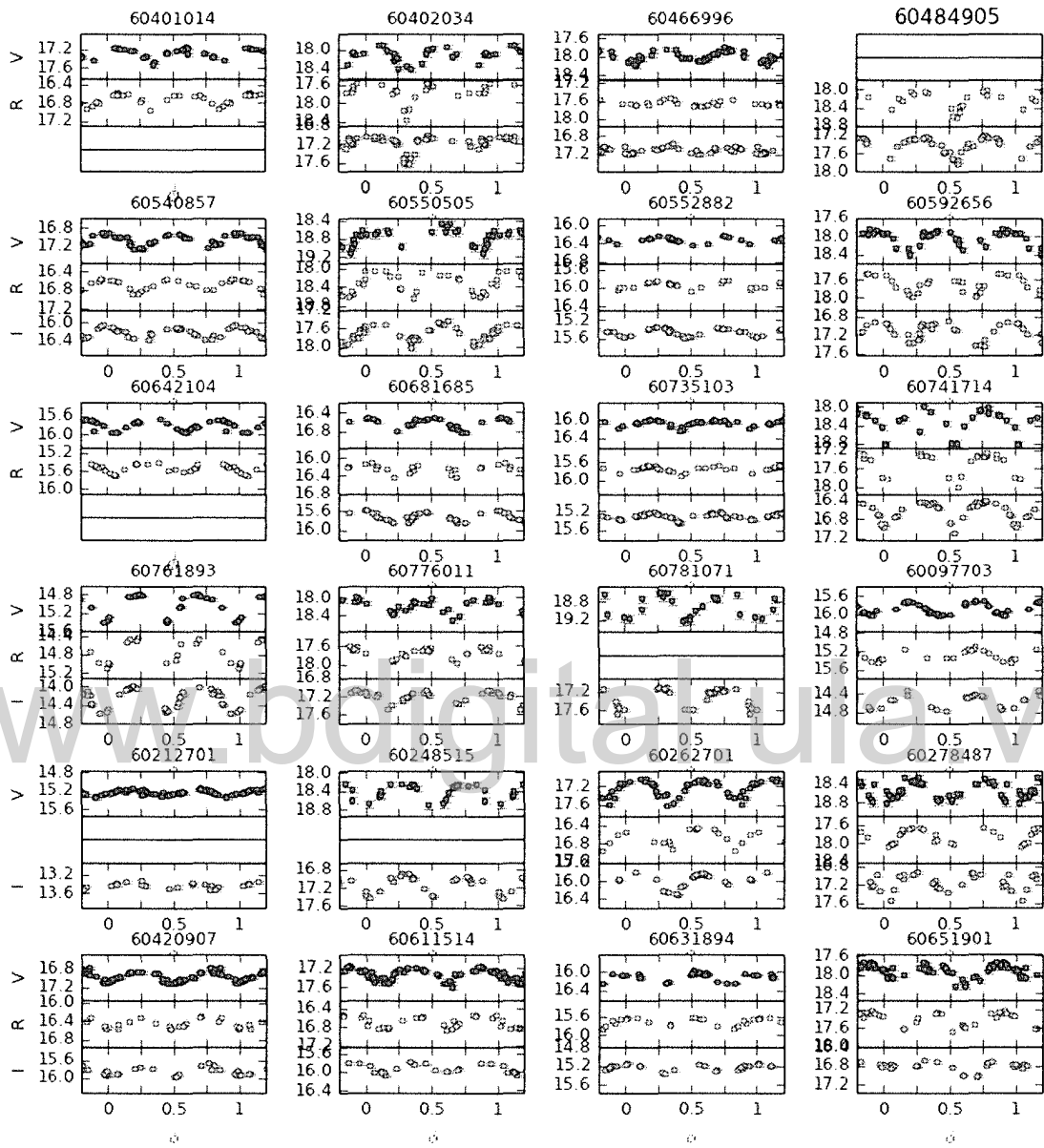


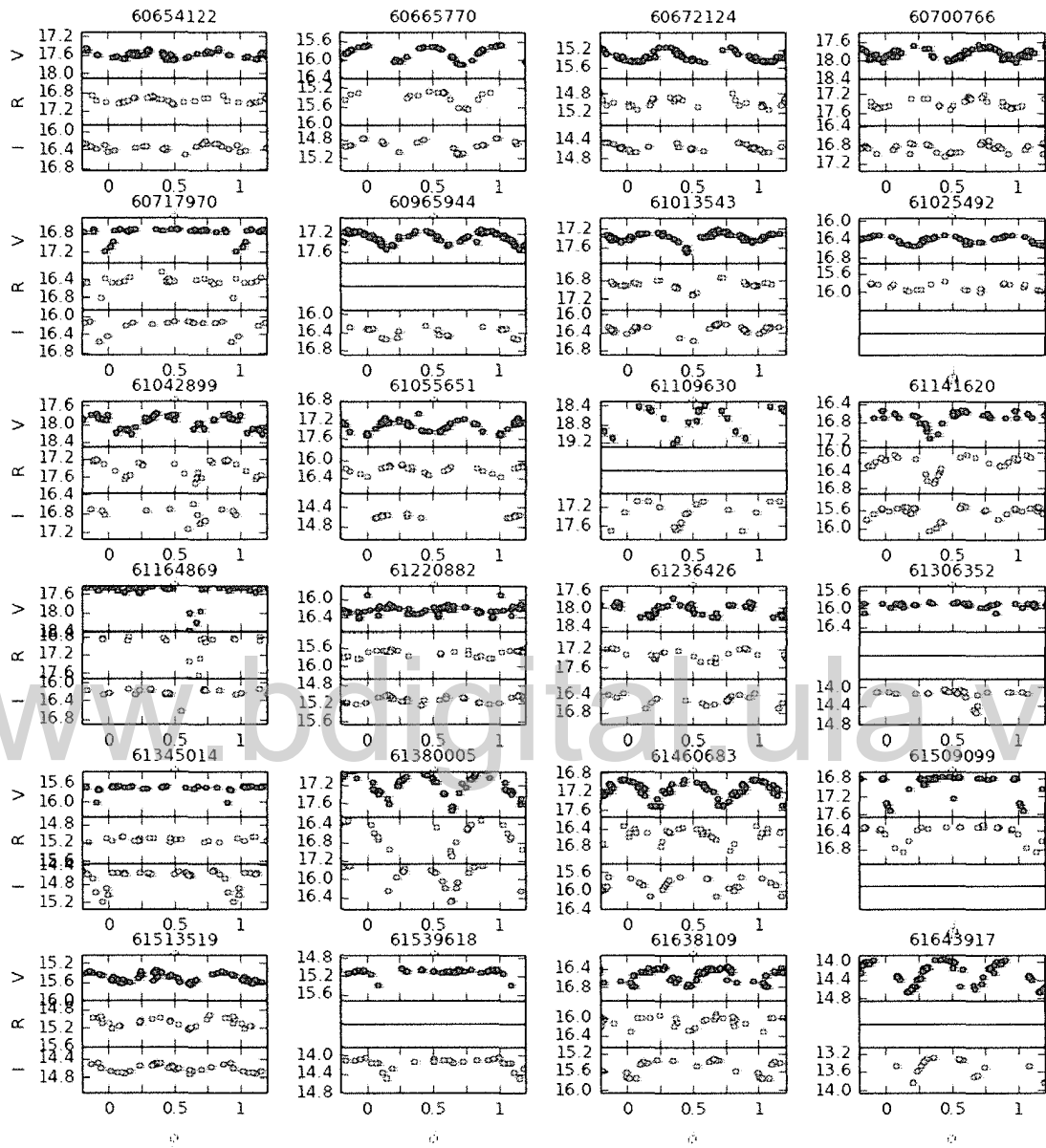


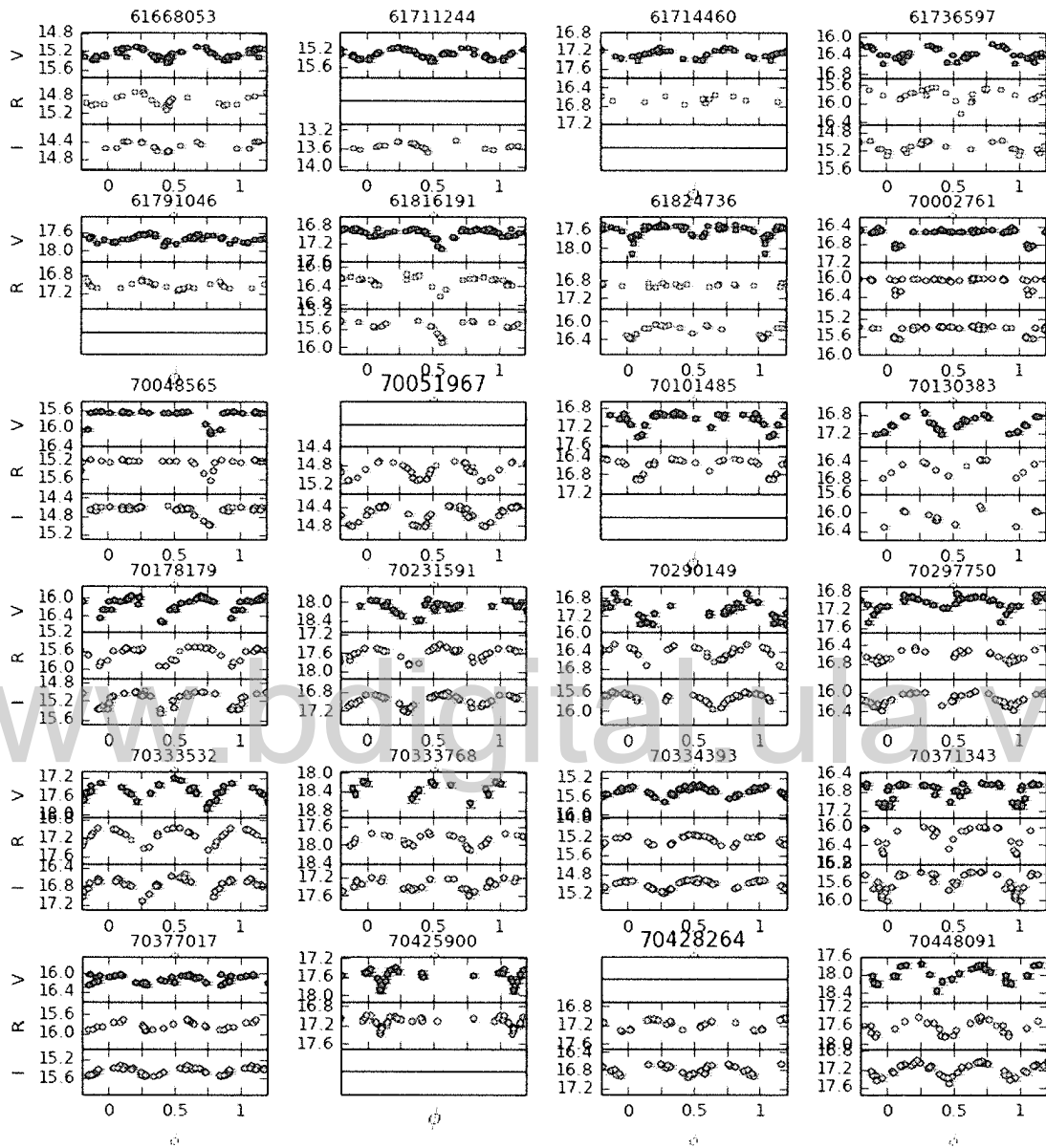


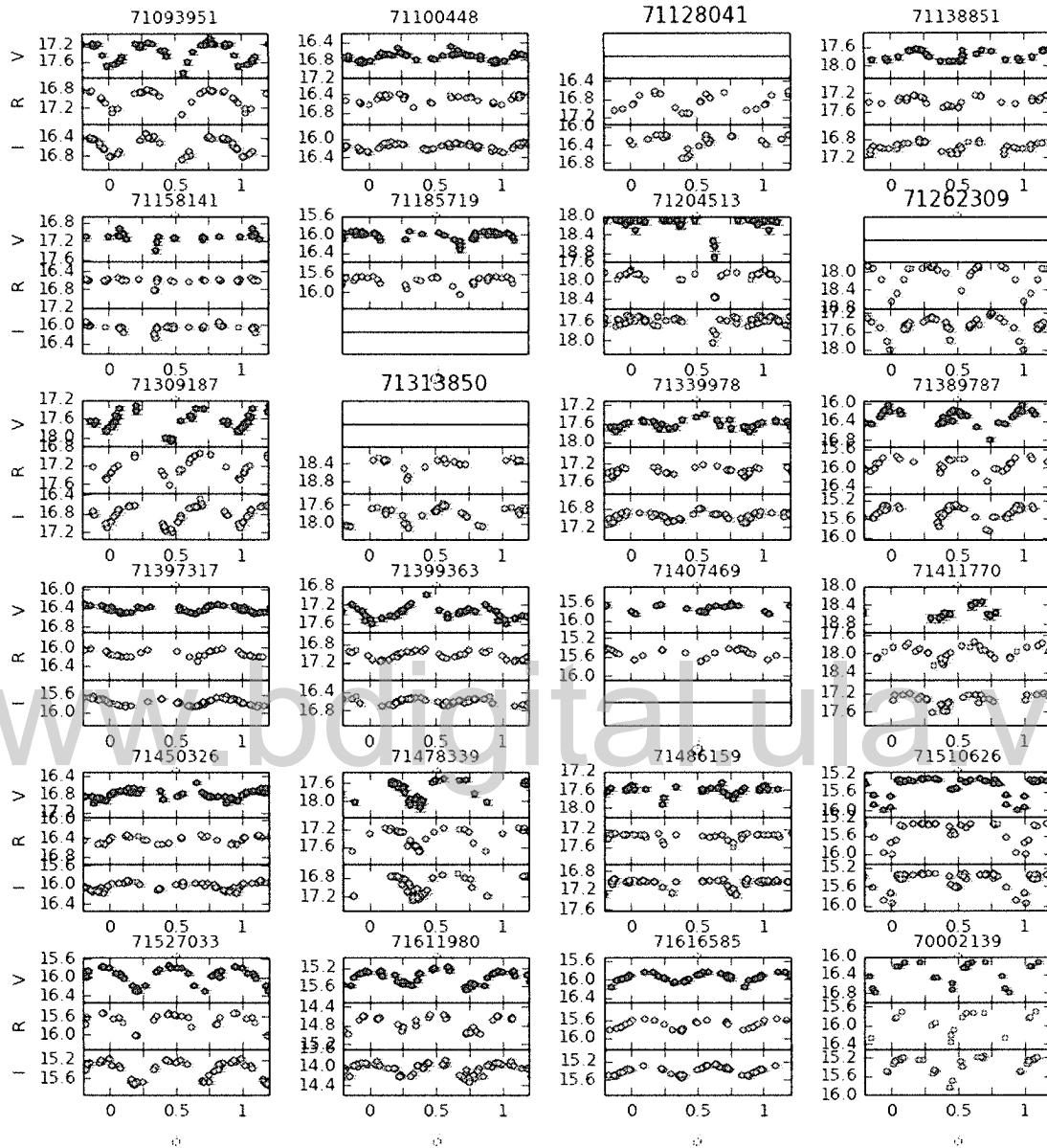


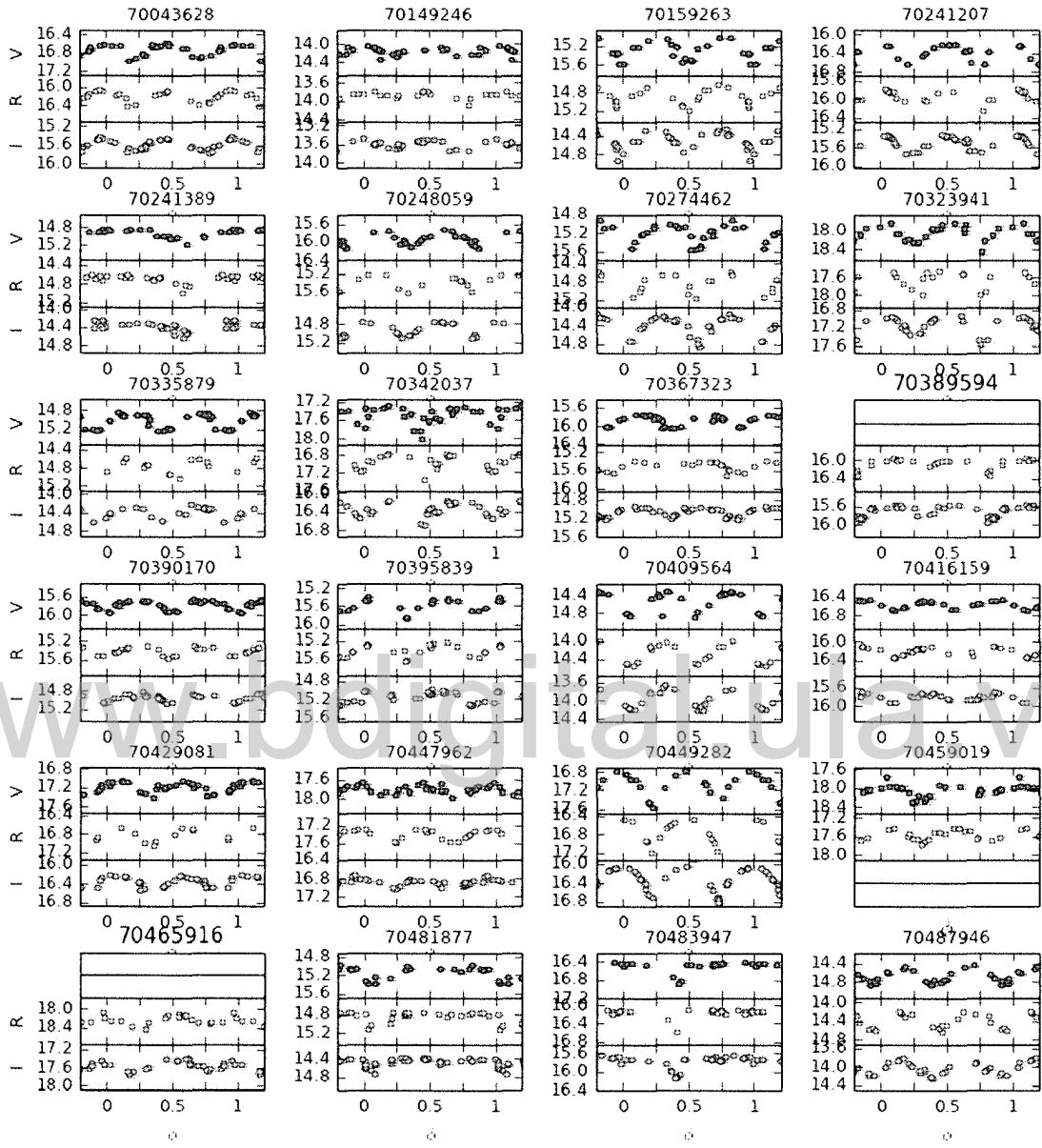


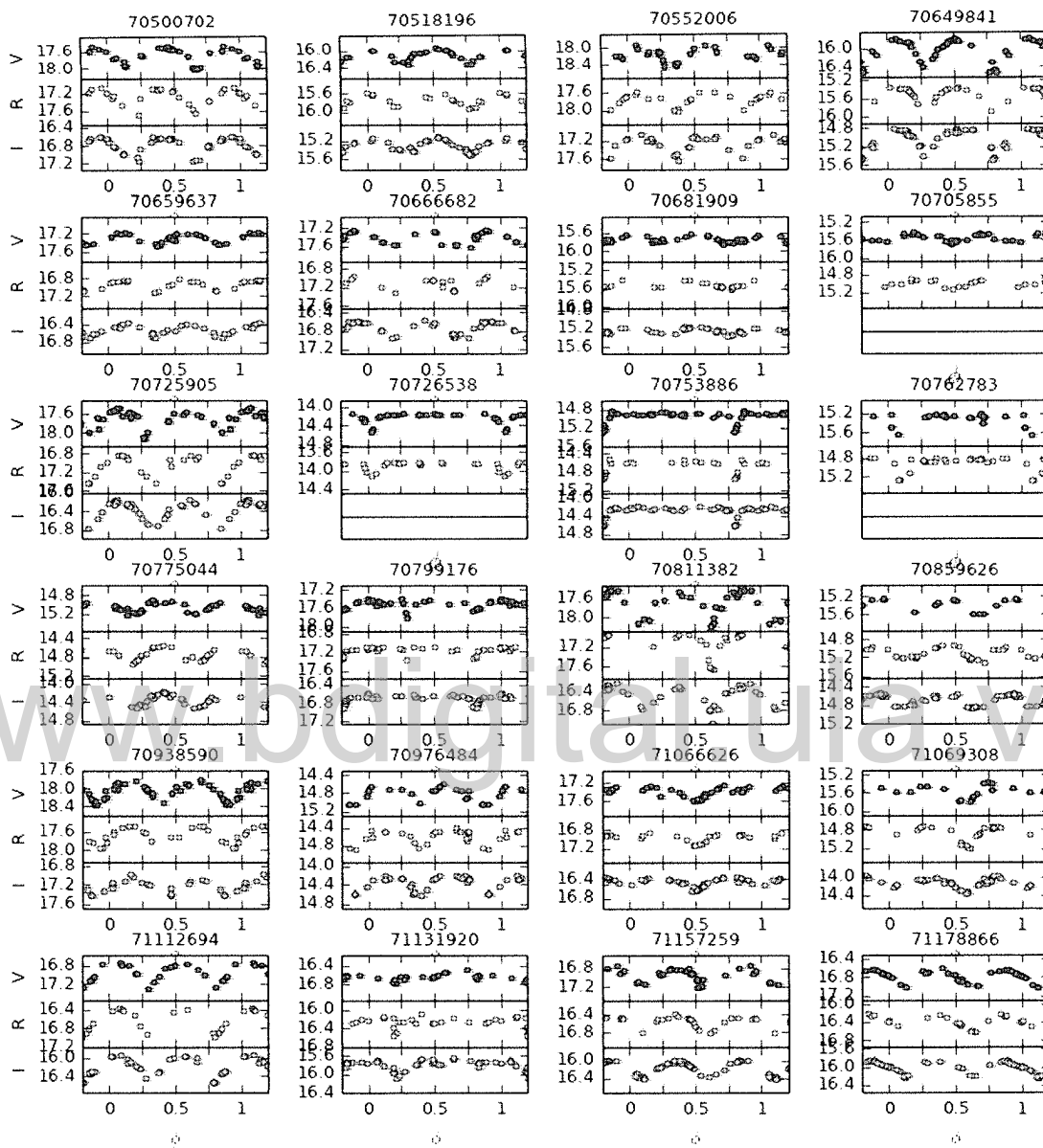


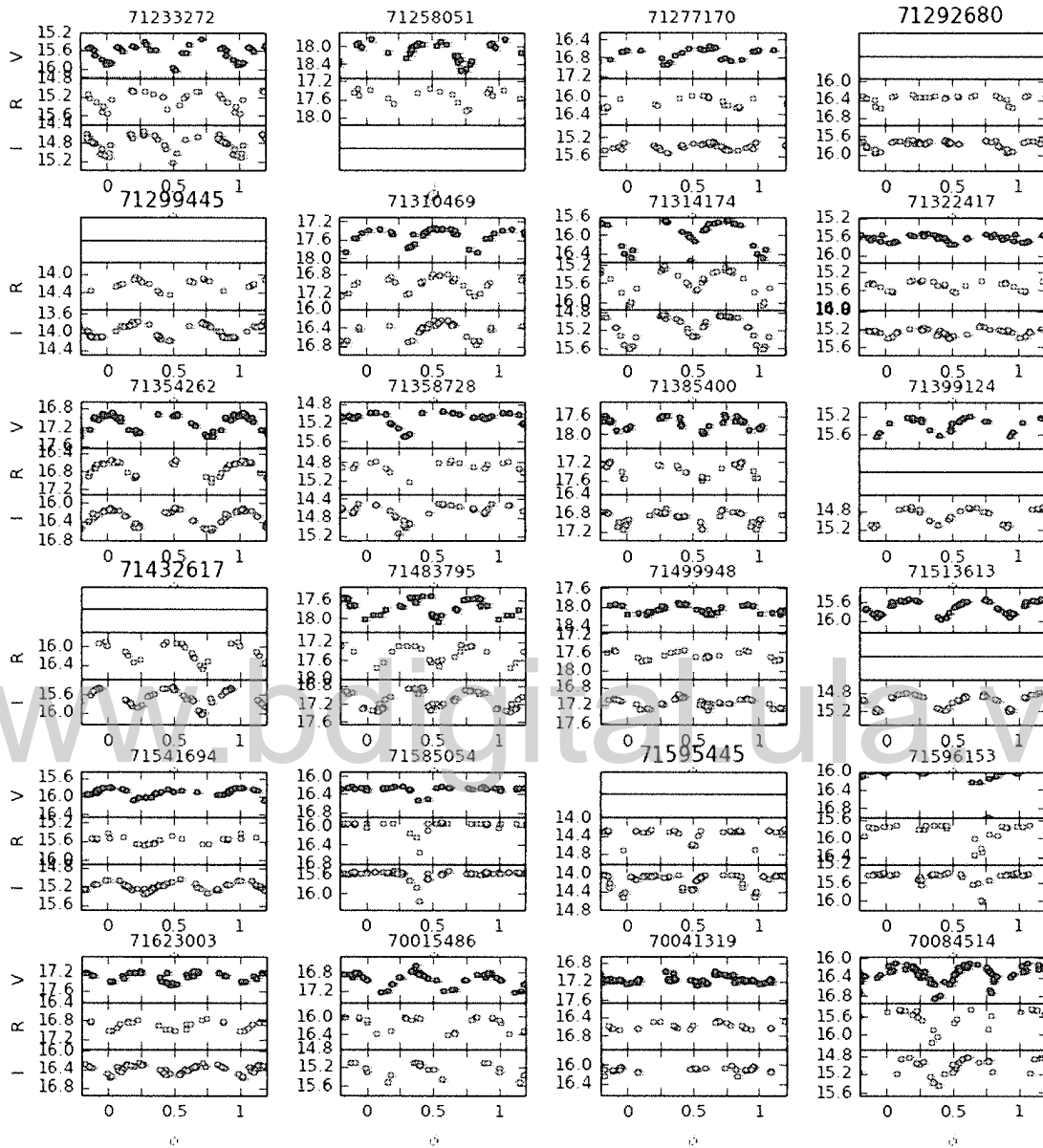


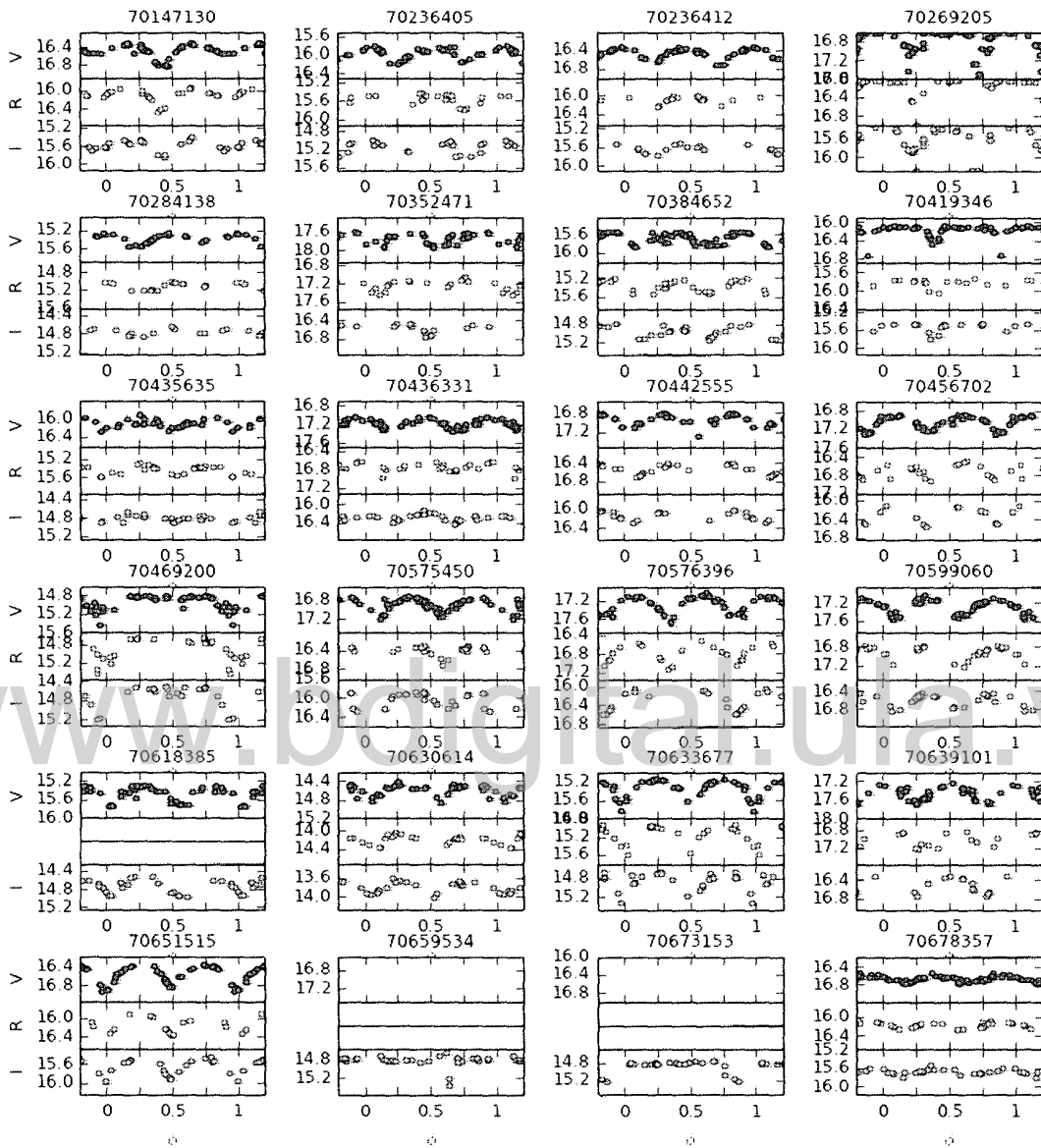


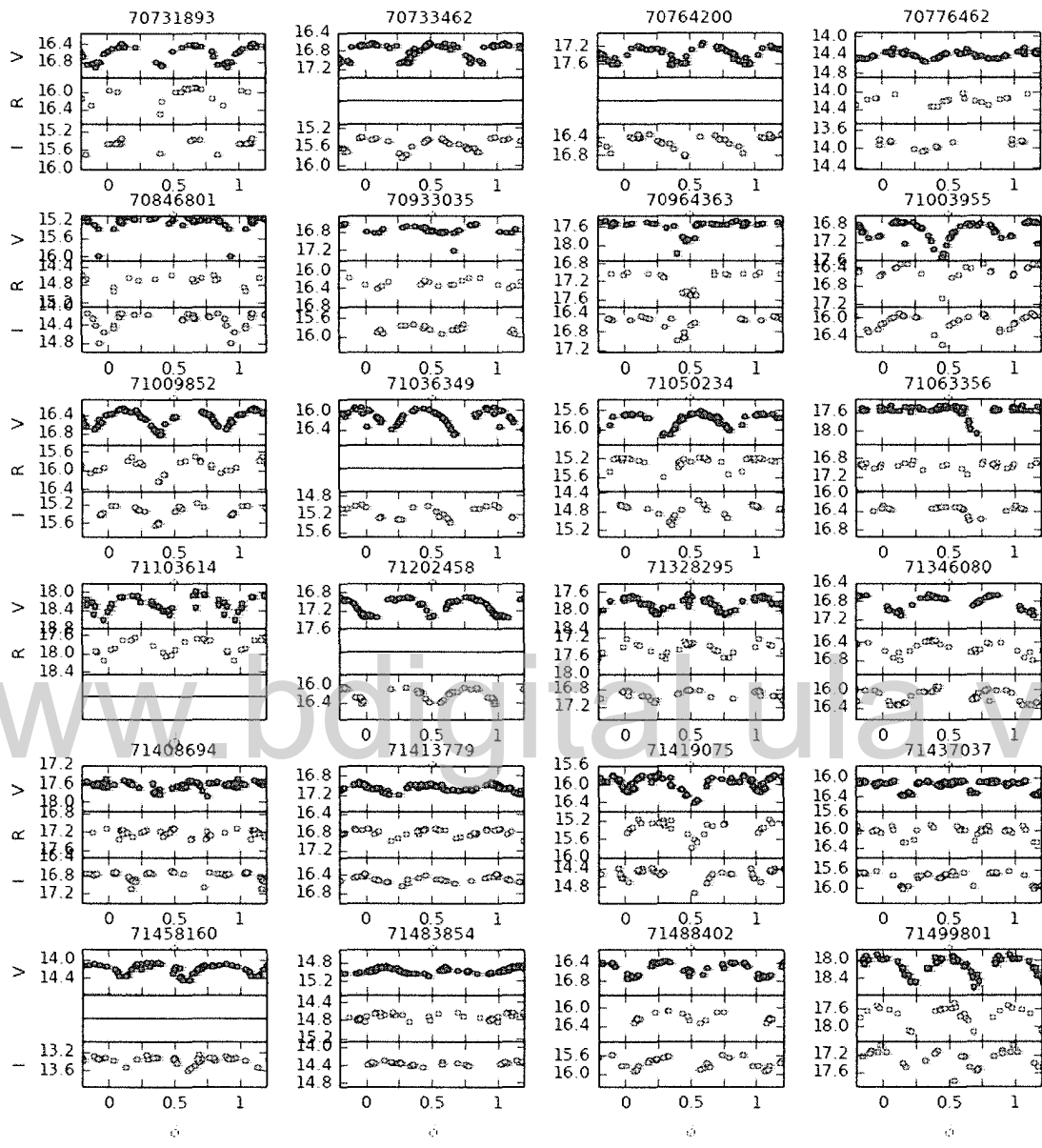


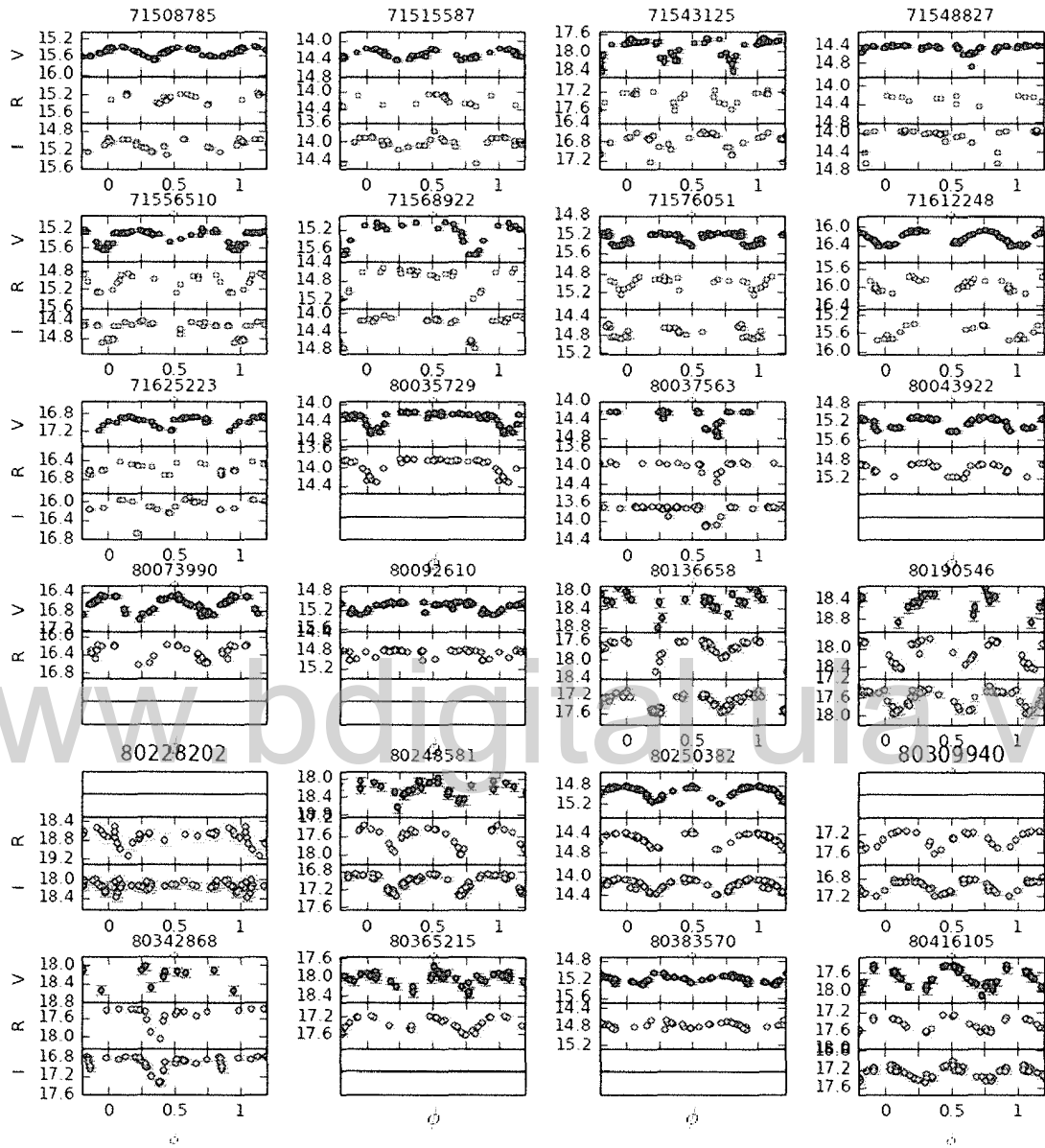


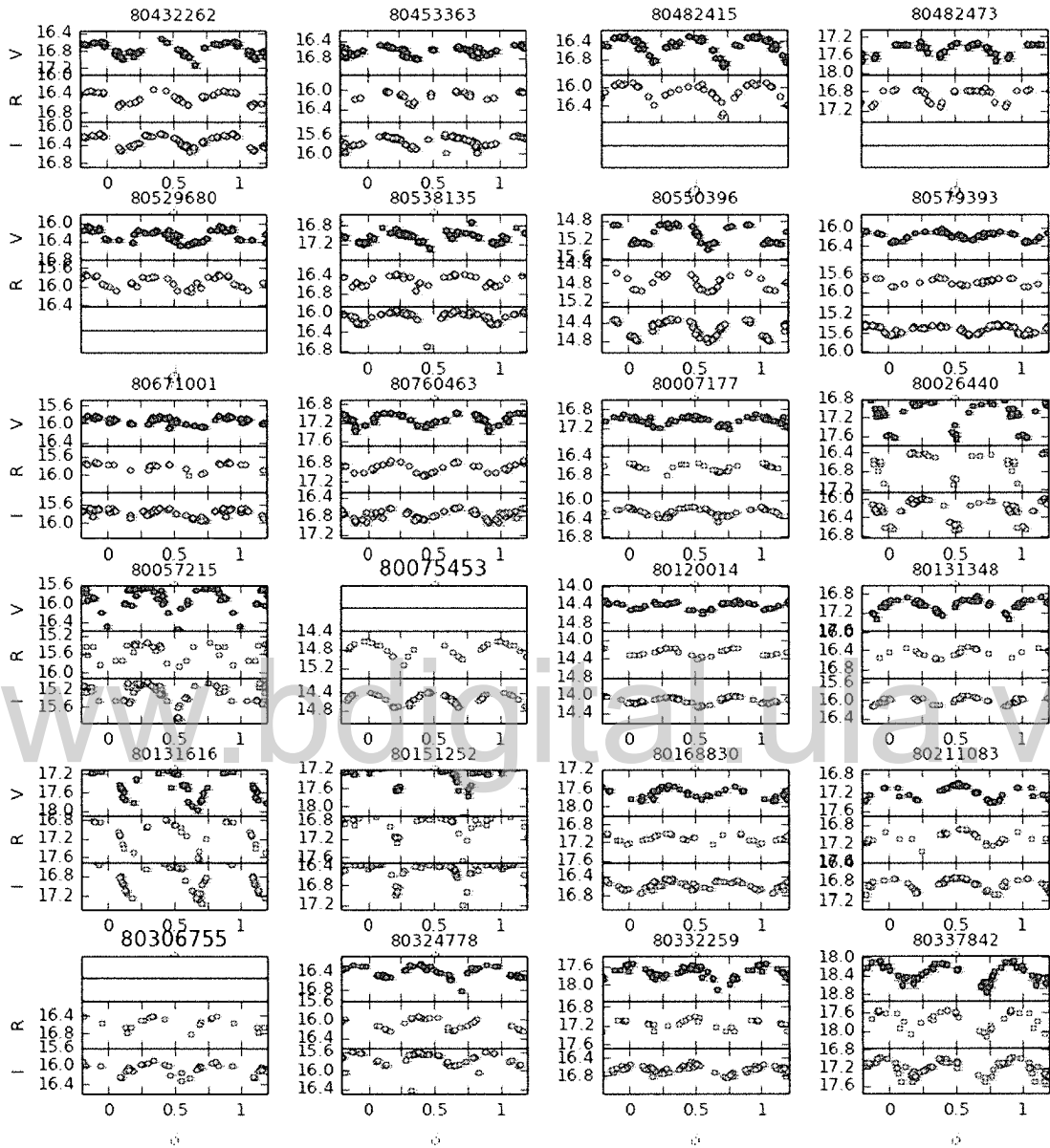


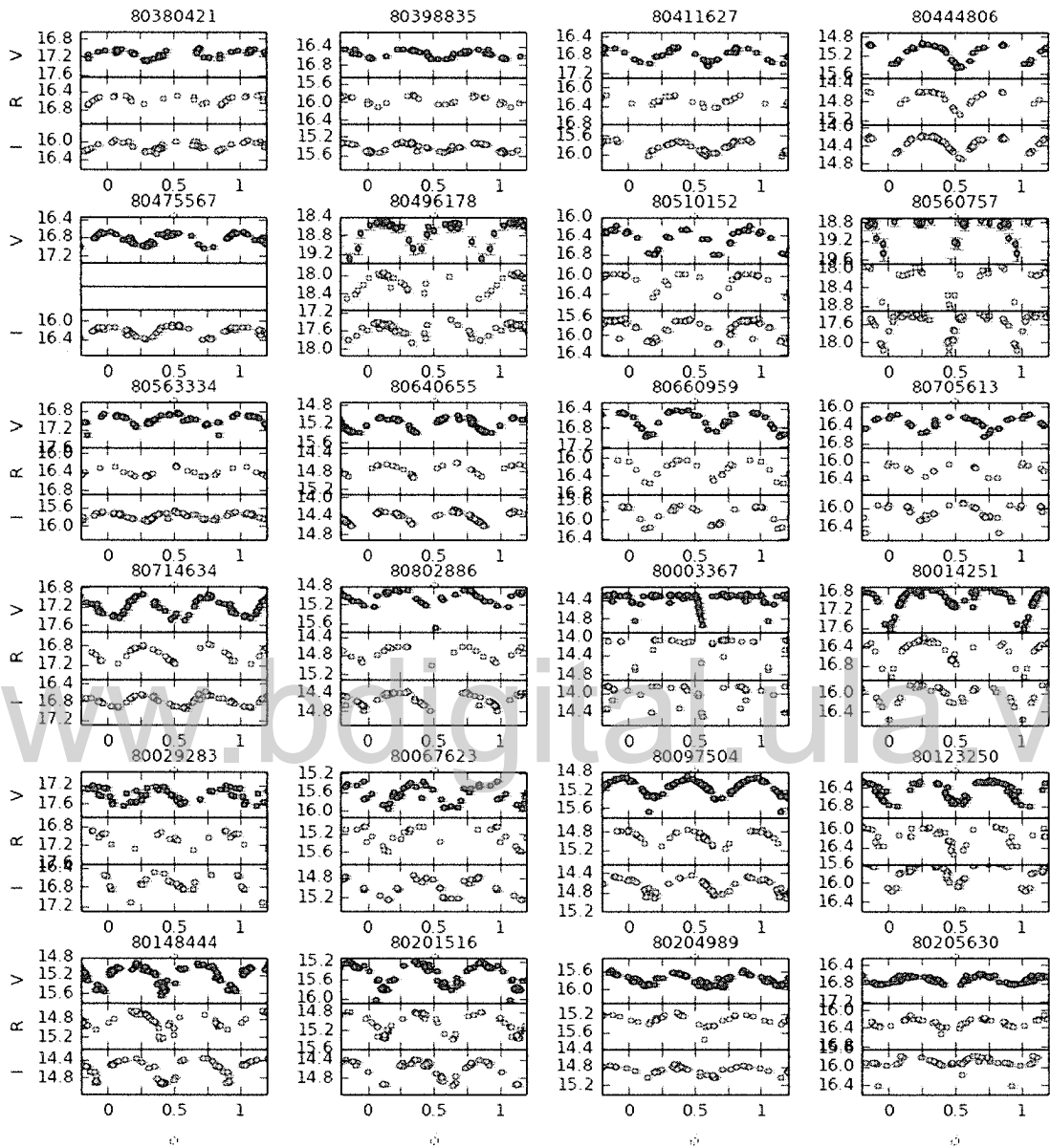


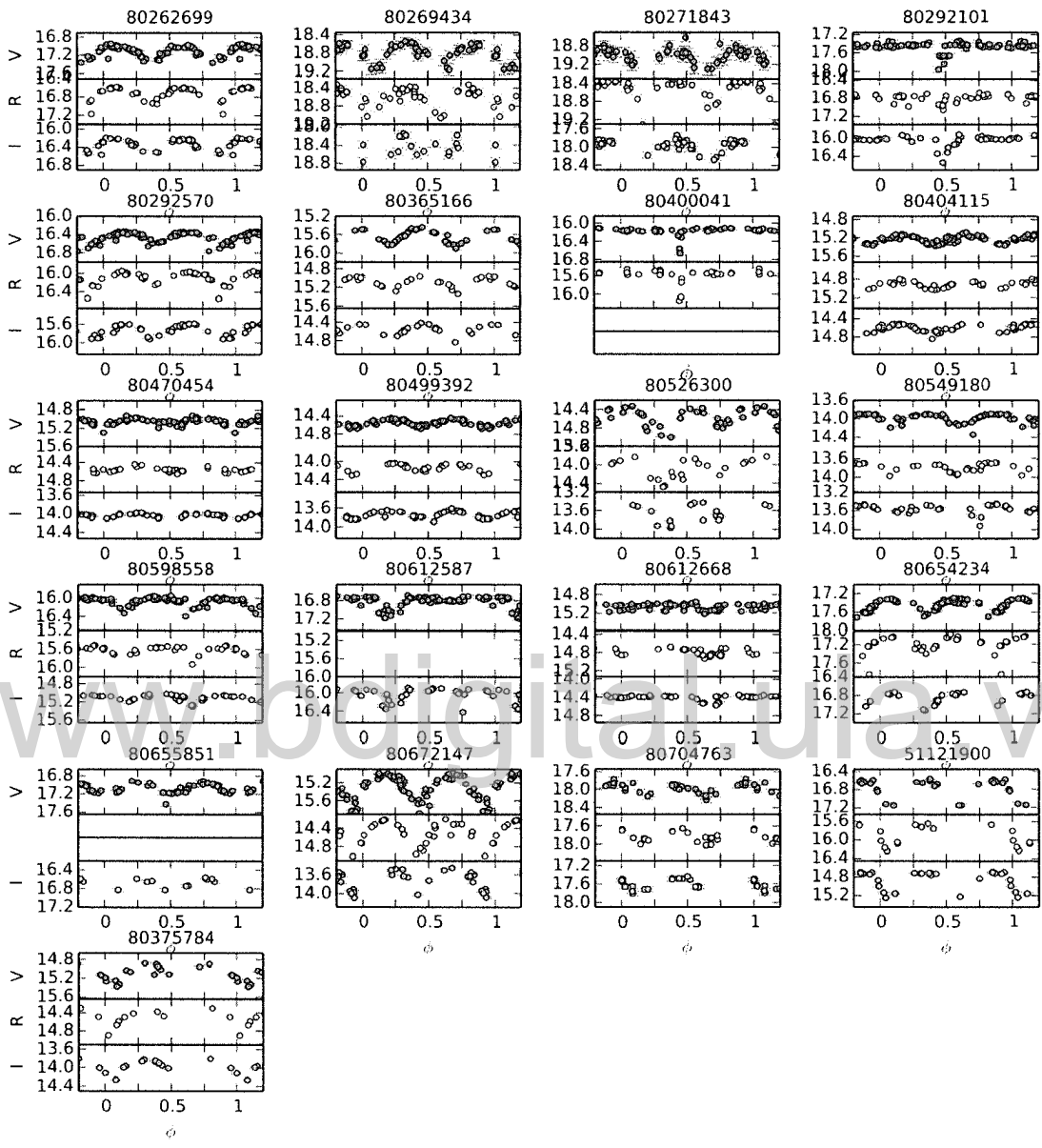












www.bdigital.ula.ve

Apéndice B

Catálogo de binarias eclipsantes

www.bdigital.ula.ve

ID	AR	DEC	Period(d)	N _v	V	AmpV	N _R	R	AmpR	N _I	I	AmpI	Tipo
40430964.0	73.39671567	1.21155783	0.362752	23.0	16.522	0.486	24.0	16.045	0.507	26.0	15.663	0.453	ew
40440270.0	73.51376611	1.10068172	0.620192	26.0	14.856	0.415	25.0	14.693	0.465	26.0	14.526	0.416	eb
40451647.0	73.6484167	1.19106828	0.262418	19.0	17.525	0.628	23.0	17.123	0.62	25.0	16.768	0.641	ew
40507509.0	74.3014735	1.23649422	0.430038	24.0	16.562	0.212	25.0	16.248	0.269	27.0	15.951	0.282	ew
40536826.0	74.64610745	1.44519011	0.31963	20.0	17.035	0.27	24.0	16.685	0.27	21.0	16.35	0.277	ew
40321878.0	71.88741834	0.38869266	0.554846	20.0	14.315	0.386	5.0	13.875	0.226	0.0	0.0	0.0	ew
40392956.0	72.87471961	0.69226717	0.269416	19.0	17.715	0.678	11.0	17.257	0.695	21.0	16.795	0.664	ew
40367482.0	72.58381472	-0.10348594	0.282216	33.0	16.311	0.55	25.0	15.963	0.482	23.0	15.629	0.448	ew
40379942.0	72.74930817	-0.297763	2.000704	15.0	16.42	0.2	12.0	15.733	0.15	17.0	15.18	0.322	ea
40430447.0	73.39030594	-0.10106541	0.30083	31.0	18.132	0.52	23.0	17.821	0.273	20.0	17.62	0.344	ew
40448224.0	73.60739925	0.11906875	0.229066	0.0	0.0	0.0	18.0	17.708	0.779	16.0	17.107	0.753	ea
40452311.0	73.65614867	-0.15556983	1.025858	35.0	17.347	0.43	23.0	17.309	0.414	21.0	17.307	2.349	ea
40494852.0	74.1566865	0.20654617	0.364382	23.0	16.606	0.447	14.0	16.028	0.436	13.0	15.644	0.352	ew
40544320.0	74.73376789	-0.13555661	0.321777	28.0	16.783	0.35	24.0	16.311	0.377	23.0	15.897	0.369	ew
40546984.0	74.76476033	0.26690167	0.283726	13.0	16.365	0.601	9.0	15.884	0.37	10.0	15.464	0.522	ew
50009152.0	75.10070144	1.05505011	0.412072	20.0	15.824	0.482	24.0	15.895	0.31	21.0	15.75	0.296	ew
50034168.0	75.36212617	1.30209328	0.333474	26.0	16.254	0.452	23.0	15.914	0.382	24.0	15.593	0.438	ew
50065350.0	75.890381	1.3648915	0.20933	16.0	18.661	0.492	18.0	17.723	0.538	22.0	17.051	0.538	ew
50104299.0	76.07935239	1.31239739	0.920906	26.0	17.026	0.688	20.0	16.679	0.592	21.0	16.389	0.603	ea
50122594.0	76.2716165	1.3451395	0.229272	28.0	15.948	0.413	23.0	15.384	0.207	23.0	15.027	0.205	ew
50182919.0	76.917544	1.21323256	0.74998	26.0	15.509	0.268	27.0	15.3	0.284	27.0	15.124	0.232	ea
50207034.0	77.17047745	1.21934678	0.337941	43.0	17.122	0.356	25.0	16.83	0.502	46.0	16.212	0.45	ew
50286491.0	77.80766109	1.4424815	0.63141	59.0	16.711	0.361	15.0	16.327	0.361	0.0	0.0	0.0	ea
50286491.0	77.91845583	1.26471817	0.57669	26.0	15.253	0.381	25.0	15.107	0.309	47.0	14.939	0.339	eb
50292673.0	77.97236808	1.3703655	0.307358	39.0	18.211	0.683	20.0	17.773	0.639	0.0	0.0	0.0	ew
50309293.0	78.1179275	1.04532383	0.206454	31.0	18.417	0.453	25.0	18.093	0.329	0.0	0.0	0.0	ea
50356379.0	78.54825333	1.31961633	0.438454	52.0	14.767	0.398	18.0	14.244	0.263	81.0	13.859	0.362	ew
50382864.0	78.78675195	1.16932867	0.259248	49.0	17.372	0.398	26.0	16.747	0.182	93.0	16.15	0.39	ew
50392149.0	78.86801805	1.25570722	0.371255	53.0	15.259	0.244	24.0	14.814	0.224	99.0	14.458	0.356	ew
50427699.0	79.18811267	1.26213934	9.93552	38.0	18.285	0.542	36.0	17.824	0.526	0.0	0.0	0.0	ew
50428744.0	79.19737225	1.186251	1.045583	0.0	0.0	0.0	43.0	16.116	0.618	59.0	15.821	0.467	ea
50449876.0	79.39576678	1.25477089	0.250438	23.0	18.742	0.747	47.0	18.031	0.623	87.0	17.635	1.91	ew
50515851.0	80.00954128	1.47764472	0.26237	39.0	17.026	0.428	39.0	16.304	0.185	60.0	15.53	0.393	ew
50557720.0	80.386909	1.16904122	0.313152	55.0	15.736	0.196	52.0	15.313	0.221	124.0	14.945	0.251	ew
50566490.0	80.46707961	1.35626939	0.540496	58.0	16.107	0.521	55.0	15.876	0.307	118.0	15.616	0.428	ew
50571345.0	80.51073533	1.24244333	0.328092	51.0	17.404	0.421	55.0	16.994	0.249	127.0	16.621	0.325	ew
50576340.0	80.55327439	1.14432839	0.657282	2.0	19.769	0.015	36.0	18.858	0.98	114.0	17.587	0.941	ea
50598499.0	80.74937795	1.40037422	0.047133	50.0	17.636	0.519	45.0	17.004	0.255	104.0	16.381	0.27	ea
50624681.0	80.970623	1.48941075	0.26503	13.0	19.151	0.318	26.0	18.397	0.386	0.0	0.0	0.0	ew
50634198.0	81.0483725	1.3987535	0.208208	47.0	18.242	0.567	40.0	17.293	0.362	0.0	0.0	0.0	ew
50641455.0	81.10718011	1.42375578	0.272109	40.0	17.846	0.697	47.0	17.359	0.828	89.0	17.01	0.768	ew
50747963.0	81.96804033	1.0266301	0.413978	30.0	16.553	0.249	47.0	16.024	0.395	117.0	15.863	0.509	ew
50775468.0	82.18830983	1.33601084	0.368418	32.0	15.867	0.257	29.0	15.356	0.71	98.0	14.913	0.35	ew
50812338.0	82.493896	1.033975	0.086737	23.0	14.324	0.48	44.0	13.977	0.333	0.0	0.0	0.0	ea
50814991.0	82.51517428	1.34493783	0.333115	26.0	17.951	0.388	45.0	17.622	0.356	118.0	17.134	0.342	ew
50839106.0	82.71652667	1.31434389	0.401178	24.0	15.067	0.334	51.0	17.916	0.482	107.0	17.345	0.434	ew
50847483.0	82.7867965	0.9669225	0.468221	0.0	0.0	0.0	38.0	14.685	0.338	102.0	14.11	0.486	ew
50876465.0	83.03223622	1.06996894	0.327801	26.0	15.797	0.736	53.0	15.252	0.711	107.0	14.751	0.915	ew
50879736.0	83.06092322	1.12765061	0.227755	6.0	19.392	0.462	41.0	18.284	0.776	93.0	17.47	1.191	ew
50960726.0	83.75200067	1.39177744	0.333189	15.0	18.653	0.519	37.0	17.915	0.727	81.0	17.463	0.53	ew
51017040.0	84.21936622	1.47695633	0.352766	22.0	17.095	0.618	29.0	16.282	0.498	53.0	15.878	0.551	ew

51038050.0	84.39596317	1.35742272	0.391762	15.0	18.152	0.581	26.0	17.67	0.566	85.0	17.167	0.608	ew
51059196.0	84.570652	0.99350287	0.42834	8.0	17.865	0.336	14.0	17.606	0.4	85.0	16.819	0.575	ew
51062290.0	84.59583322	1.14174567	0.22574	21.0	18.162	0.396	24.0	17.199	0.232	92.0	16.437	0.279	ew
51069538.0	84.65704517	1.43906905	0.423796	21.0	16.156	0.452	23.0	15.485	0.445	66.0	14.832	0.412	ew
51118146.0	85.06441867	1.19038689	0.55887	20.0	17.448	0.4	23.0	17.161	0.368	80.0	16.901	0.524	ew
51121206.0	85.090233	0.927382	0.193018	0.0	0.0	0.0	15.0	17.509	0.496	67.0	16.825	0.594	ew
51121235.0	85.09041245	1.46939733	0.26659	21.0	16.804	0.378	23.0	16.413	0.313	50.0	15.781	0.265	ew
51173465.0	85.55281078	1.20459045	0.266494	21.0	16.924	0.544	21.0	16.287	0.555	64.0	15.736	0.592	ew
51202001.0	85.79402517	1.41953717	0.236647	12.0	18.509	0.434	25.0	17.661	0.367	60.0	17.072	0.335	ew
51207122.0	85.83841411	1.25810683	0.542304	25.0	15.671	0.852	24.0	15.129	0.9	77.0	14.627	0.926	ew
51240102.0	86.11773967	1.001505	0.490676	12.0	16.894	0.377	16.0	16.486	0.3	62.0	16.369	0.428	ew
51242452.0	86.13741478	1.10341105	0.552998	26.0	15.743	0.613	26.0	15.244	0.631	62.0	14.749	0.641	ew
51259955.0	86.28337895	1.09864689	0.438044	25.0	15.03	0.289	25.0	14.497	0.291	56.0	14.019	0.579	ew
51261471.0	86.29358717	1.332817	0.303644	26.0	15.215	0.682	21.0	14.582	0.66	55.0	13.956	0.882	ew
51337163.0	86.96281744	1.03958789	0.276885	8.0	19.022	0.34	22.0	17.845	0.302	42.0	16.793	0.388	ew
51382182.0	87.32889961	1.12144056	0.329656	11.0	18.402	0.684	22.0	17.478	0.372	40.0	16.789	0.415	ew
51471204.0	88.00962044	1.25829544	0.343744	23.0	15.226	0.544	17.0	14.591	1.113	18.0	13.891	0.475	ew
51494267.0	88.19358109	1.02860817	0.860542	22.0	16.2	0.425	22.0	15.546	0.55	0.0	0.0	0.0	ea
51560357.0	88.71870578	1.19401078	0.166798	16.0	18.156	0.526	25.0	17.032	0.594	24.0	15.394	0.567	ea
51616583.0	89.20401767	1.00725533	0.313658	12.0	17.656	0.413	13.0	16.997	0.322	21.0	16.24	0.401	ew
51714505.0	89.85232222	1.28579433	0.274214	12.0	18.642	0.898	20.0	17.59	0.664	21.0	16.48	0.765	ew
5007940.4	75.83403417	0.35163178	0.544602	15.0	17.929	0.427	19.0	18.07	0.323	19.0	17.878	0.355	ew
50091440.0	75.95377367	0.48042433	0.317056	17.0	15.137	0.615	18.0	14.79	0.931	20.0	14.415	0.594	ew
50097045.0	76.0097935	0.66442211	0.265602	17.0	17.097	0.609	19.0	16.642	0.563	22.0	16.232	0.554	ew
50336458.0	78.37858555	0.79091711	0.33454	63.0	16.106	0.424	41.0	15.51	0.456	87.0	14.95	0.485	ew
50430702.0	79.22774678	0.39224672	0.240358	68.0	15.045	0.907	47.0	14.548	0.876	95.0	14.074	0.833	ew
50480134.0	79.692047	0.83641889	0.310499	51.0	17.212	0.842	39.0	16.788	0.72	70.0	16.383	0.756	ew
50490529.0	79.79055689	0.41429405	3.052664	52.0	16.397	0.271	49.0	16.054	0.251	102.0	15.747	0.47	ea
50505329.0	79.9269835	0.34777089	0.384864	57.0	16.705	0.611	43.0	16.348	0.555	90.0	15.979	0.828	ew
50529660.0	80.1504745	0.534858	0.17806	32.0	14.064	0.569	0.0	0.0	0.0	62.0	13.282	0.537	ew
50620504.0	80.95321995	0.80220595	0.504927	63.0	15.428	0.498	45.0	15.055	0.425	107.0	14.74	0.8	ew
50643673.0	81.14206033	0.77247734	0.795061	66.0	17.407	0.704	47.0	16.238	0.33	0.0	0.0	0.0	ew
50656194.0	81.24280056	0.42669844	0.487314	43.0	16.579	0.486	42.0	16.114	0.388	126.0	15.648	0.393	ew
50666065.0	81.32513667	0.63866667	0.220862	70.0	16.481	0.222	48.0	15.967	0.22	124.0	15.222	0.226	ew
50707857.0	81.671191	0.8374185	0.327595	37.0	14.549	0.452	36.0	14.157	0.484	85.0	13.761	0.431	ew
50737943.0	81.909454	0.38449556	3.084968	47.0	15.335	0.391	47.0	14.801	0.284	110.0	13.495	0.243	ew
50765935.0	82.131226	0.805391	1.26327	50.0	14.703	0.439	35.0	13.884	0.433	0.0	0.0	0.0	ea
50815970.0	82.54666589	0.67769783	1.173428	46.0	18.195	0.813	40.0	17.776	0.755	123.0	17.286	0.849	ea
50829485.0	82.6600155	0.8103755	0.354527	50.0	17.073	0.261	44.0	16.604	0.323	127.0	16.282	0.388	ew
50842025.0	82.76557733	0.43021233	0.279686	18.0	19.221	0.53	41.0	18.081	0.446	107.0	17.096	0.438	ew
50860953.0	82.92499583	0.480402	1.233148	42.0	16.807	0.489	47.0	16.482	0.447	98.0	16.097	0.468	ew
50869530.0	82.94451517	0.82397489	0.372698	46.0	16.972	0.271	41.0	16.647	0.313	83.0	16.474	0.33	ew
51073077.0	84.27095994	0.74591011	0.414812	55.0	14.668	0.47	25.0	14.438	0.473	100.0	14.166	0.814	ew
51077029.0	84.72087333	0.61407533	0.542084	50.0	15.838	0.322	21.0	15.369	0.286	92.0	14.852	0.362	ew
5109368.0	84.75512283	0.65543922	0.464762	51.0	14.674	0.321	20.0	14.265	0.25	81.0	13.845	0.283	ew
51090576.0	84.86569922	0.87777389	6.555936	32.0	16.173	0.546	15.0	15.537	0.511	69.0	14.891	0.533	ea
51105789.0	84.995468	0.80321783	0.513067	43.0	17.036	0.486	19.0	16.775	0.16	81.0	16.305	0.276	ew
51125983.0	85.16907367	0.538486	0.366139	24.0	14.698	0.372	19.0	14.2	0.346	69.0	13.995	0.37	ew
51127358.0	85.18144667	0.32892489	0.245136	24.0	18.505	0.688	20.0	17.858	0.585	58.0	17.096	0.721	ew
51155326.0	85.43347605	0.52826111	0.81525	24.0	15.897	0.407	18.0	15.566	0.304	73.0	15.156	0.251	ew
51217112.0	85.9633944	0.47876267	0.294318	21.0	18.598	0.617	18.0	18.007	0.606	55.0	17.477	0.65	ew

51219660.0	85.9869	0.888513	0.338542	20.0	17.325	0.778	9.0	16.798	0.624	45.0	16.277	0.821	ew
51410418.0	87.59094167	0.39051667	0.249683	20.0	18.817	0.374	19.0	17.519	0.255	27.0	16.411	0.306	ew
51430194.0	87.74293872	0.60328783	0.456884	30.0	17.39	0.214	20.0	16.961	0.183	32.0	16.238	0.217	ew
51440211.0	87.81958533	0.45440033	0.359488	19.0	15.739	0.243	12.0	14.938	0.215	22.0	14.136	0.252	ew
51451030.0	87.90372233	0.665968	0.360158	25.0	16.263	0.279	18.0	15.697	0.26	33.0	14.981	0.268	ew
51494370.0	88.25051367	0.43529083	0.336718	11.0	15.851	0.219	12.0	15.042	0.189	21.0	14.221	0.231	ew
51497683.0	88.27710883	0.82040661	1.417984	25.0	16.561	0.311	19.0	15.813	0.32	34.0	15.05	0.313	ea
51684045.0	89.65669139	0.36318606	0.670072	14.0	18.563	0.439	19.0	17.849	0.476	16.0	17.063	0.365	ea
50061732.0	75.65045852	-0.01943548	1.263232	39.0	15.583	1.023	22.0	15.383	0.8	23.0	15.144	0.865	ea
50283698.0	77.90370878	-0.11940528	0.290904	82.0	15.502	0.427	23.0	15.229	0.402	42.0	14.88	0.38	ew
50310388.0	78.14135467	-0.24593583	0.786698	59.0	16.702	0.286	25.0	16.5	0.28	65.0	16.224	0.386	ew
50322296.0	78.25246706	-0.26118111	0.303586	53.0	17.956	0.78	21.0	17.827	0.305	62.0	17.22	0.397	ew
50324694.0	78.27445683	-0.19088617	2.318376	53.0	15.866	0.673	13.0	15.073	0.275	73.0	13.436	0.219	ew
50330409.0	78.327461	-0.02924325	0.210705	71.0	16.523	0.765	21.0	16.161	0.792	0.0	0.0	0.0	ea
50334073.0	78.36108139	0.04899	0.326127	85.0	16.493	0.57	22.0	16.532	0.495	70.0	15.85	0.694	ew
50355158.0	78.5506945	-0.11909606	2.365503	77.0	17.847	0.839	23.0	17.532	0.356	69.0	17.15	0.578	ea
50420666.0	79.13962881	-0.00985108	0.817758	129.0	15.986	0.301	53.0	15.843	0.151	74.0	15.611	0.289	ew
50443729.0	79.3552245	0.22752367	0.453769	48.0	16.323	0.317	32.0	16.156	0.154	45.0	16.024	0.417	ew
50480790.0	79.70378867	0.20591883	0.622294	63.0	16.007	0.232	26.0	15.893	0.185	46.0	15.754	0.251	ew
50498753.0	79.87151367	0.2162455	0.367363	63.0	16.616	0.539	23.0	15.919	0.473	44.0	15.926	0.484	ew
50513325.0	80.00615789	-0.21786422	3.445265	78.0	17.742	0.256	48.0	17.036	0.14	81.0	16.461	0.687	ea
50544388.0	80.288934	0.22404883	0.284569	57.0	14.873	0.456	26.0	14.457	0.335	66.0	13.993	0.236	ew
50584049.0	80.64494039	-0.233942617	0.232805	42.0	19.094	0.928	71.0	18.443	0.763	84.0	18.04	4.085	ew
50673060.0	81.38874422	-0.37370067	0.28796	50.0	18.348	0.688	56.0	17.773	0.483	26.0	17.338	0.39	ew
50676364.0	81.41553325	0.16131325	0.690322	92.0	17.706	1.516	0.0	0.0	0.0	86.0	17.162	0.579	ew
50683023.0	81.47102175	0.108054	0.340211	103.0	18.042	0.941	68.0	17.397	1.295	0.0	0.0	0.0	eb
50727050.0	81.82843456	-0.34918322	0.303348	58.0	17.074	0.845	58.0	16.772	0.442	71.0	16.428	0.454	ew
50756757.0	82.06312433	-0.08066005	0.39778	114.0	15.917	0.482	84.0	15.569	0.525	143.0	15.18	0.5	ew
50757340.0	82.06788394	0.08310828	0.292634	114.0	14.697	0.329	59.0	14.176	0.154	119.0	13.653	0.262	ew
50780658.0	82.252624983	-0.30364217	0.23934	34.0	18.427	0.697	37.0	17.387	0.984	46.0	16.594	0.935	ew
50795523.0	82.37972611	0.00649711	0.232819	117.0	17.081	0.339	82.0	16.571	0.393	136.0	16.008	0.407	ew
50818266.0	82.57168317	0.180224	0.223596	63.0	17.699	0.395	39.0	16.93	0.287	97.0	16.209	0.313	ew
50826518.0	82.64140433	-0.07946911	0.245293	61.0	18.081	0.641	61.0	17.759	0.571	138.0	17.349	0.605	ew
50833701.0	82.70068378	-0.25381889	0.290887	59.0	18.109	1.137	69.0	17.637	0.878	95.0	17.09	0.806	ew
50848129.0	82.82225417	0.01436167	0.252325	0.0	0.0	0.0	43.0	18.382	1.093	75.0	17.677	0.649	ew
50888755.0	83.17237322	-0.22454378	0.243082	64.0	14.884	0.166	78.0	14.389	0.295	115.0	13.81	0.676	ew
50889721.0	83.18083	-0.38647825	0.550893	38.0	16.444	0.277	50.0	15.991	0.48	0.0	0.0	0.0	ew
50928290.0	83.51710131	0.042704	0.39011	112.0	17.14	0.449	87.0	16.642	0.485	121.0	16.057	0.41	eb
50988311.0	84.01644622	-0.23569822	1.621687	76.0	15.946	0.562	71.0	14.965	0.222	90.0	13.843	0.382	ew
51046225.0	84.503943	0.113696	0.387816	82.0	17.949	0.584	45.0	17.582	0.52	99.0	17.222	2.785	ew
51052067.0	84.55221506	-0.15249462	1.4143456	94.0	16.027	0.389	63.0	15.065	0.293	0.0	0.0	0.0	ew
51053661.0	84.56519277	-0.05613428	9.496182	108.0	15.035	0.433	57.0	13.945	0.205	0.0	0.0	0.0	ew
51055174.0	84.57731294	-0.06656544	9.93892	64.0	16.737	0.512	51.0	16.211	0.937	76.0	15.565	0.362	ea
51058771.0	84.60757696	-0.26388193	0.372311	62.0	18.404	0.863	43.0	18.2	0.839	86.0	17.819	0.7	eb
51062956.0	84.64288333	0.139426	0.257494	70.0	17.707	0.941	25.0	17.04	0.795	93.0	16.268	0.686	ew
51082306.0	84.80492017	-0.34553783	0.387926	48.0	17.586	0.449	38.0	17.217	0.424	48.0	16.827	0.388	ew
51111613.0	85.05334883	-0.16893677	0.281162	72.0	15.778	0.856	53.0	15.203	0.53	15.0	14.582	1.169	ew
51121835.0	85.14077383	0.03056879	4.9217	81.0	18.458	0.54	56.0	17.289	0.415	105.0	15.327	0.406	ew
51164830.0	85.52686615	-0.21757463	3.769318	51.0	16.672	0.565	51.0	16.274	0.513	76.0	15.792	0.554	ea
51196677.0	85.79840845	-0.31437	0.31437	52.0	17.531	0.891	52.0	16.879	0.869	74.0	16.207	1.569	ew
51201203.0	85.83778311	-0.29053156	2.127102	42.0	17.666	0.252	43.0	16.947	0.169	74.0	16.361	1.236	ea
51201286.0	85.83836335	0.16269467	0.29437	29.0	18.981	0.486	41.0	18.675	0.53	60.0	17.853	0.504	ew
51218147.0	85.98106717	-0.18328156	4.01596	34.0	18.821	0.853	21.0	18.264	0.323	88.0	17.658	0.999	ea

40516319.0	74.36478164	1.97854725	0.326007	55.0	16.822	0.481	47.0	16.447	0.478	25.0	15.998	0.419	ew
40538170.0	74.62180546	2.03775654	1.793897	52.0	16.02	0.245	46.0	14.942	0.255	22.0	13.618	0.134	ew
40543399.0	74.68303617	2.01325494	0.423866	53.0	18.548	1.088	45.0	17.944	0.679	27.0	17.426	1.05	eb
40562322.0	74.90613164	1.81458575	1.956163	45.0	16.584	0.368	37.0	16.503	0.337	27.0	16.311	0.346	ea
40566273.0	74.952377	2.230408	0.385832	23.0	13.817	0.528	3.0	0.0	0.0	11.0	13.13	0.478	ea
50001970.0	75.02204633	3.07039867	0.340064	30.0	17.228	0.499	24.0	16.604	0.392	26.0	16.061	0.363	ew
50019583.0	75.212315	3.0189415	0.546926	26.0	15.589	0.412	20.0	15.448	0.33	28.0	15.253	0.42	ew
50030975.0	75.33177575	3.34329525	0.245154	0.0	0.0	0.0	19.0	17.942	0.525	20.0	17.492	0.536	ew
50074895.0	75.78668433	3.03537167	0.23399	24.0	18.363	0.563	24.0	17.534	0.456	27.0	17.166	0.373	ew
50108832.0	76.1229093	3.099993	0.296694	31.0	16.171	0.615	15.0	15.673	0.51	0.0	0.0	0.0	ew
50126841.0	76.32226833	3.382521	1.987942	24.0	16.847	0.547	24.0	16.26	0.592	29.0	15.58	0.557	ea
50294747.0	77.99642433	3.34801167	0.401558	25.0	14.601	0.488	18.0	14.14	0.404	23.0	13.637	0.441	ew
50407530.0	79.0142945	3.35493583	1.926336	25.0	18.116	0.734	24.0	17.492	0.791	25.0	16.996	0.718	ea
50421522.0	79.142395	2.94260633	0.602654	21.0	16.649	0.428	19.0	16.166	0.298	30.0	15.695	0.471	ew
50473729.0	79.6313895	3.17644665	0.353862	33.0	16.214	0.342	23.0	15.903	0.279	27.0	15.558	0.593	ew
50487171.0	79.75854	3.03127867	0.287714	33.0	16.541	0.3	20.0	16.305	0.206	25.0	15.694	0.217	ew
50491106.0	79.795967	3.3294495	0.27748	31.0	15.568	0.411	21.0	15.196	0.338	29.0	14.57	0.368	ew
50493040.0	79.8130985	2.9351225	0.386542	0.0	0.0	0.0	20.0	15.57	0.216	28.0	15.23	0.233	ew
50510289.0	79.973259	3.3021085	0.620334	30.0	14.899	0.304	25.0	14.736	0.309	0.0	0.0	0.0	ew
50563367.0	80.45531433	3.31434767	0.321374	30.0	16.471	0.507	20.0	16.292	0.349	28.0	15.531	0.398	ew
50613447.0	80.894203	3.223801	1.346119	24.0	14.765	1.055	20.0	14.55	1.002	30.0	14.25	0.932	ea
50617224.0	80.926529	3.1156935	0.489996	29.0	17.748	0.338	24.0	17.228	0.342	29.0	16.75	0.326	ew
50664317.0	81.3110612	3.0942055	0.281642	29.0	17.285	0.589	24.0	16.92	0.528	27.0	16.482	0.641	ew
50673683.0	81.38865933	3.01654133	1.996925	23.0	15.167	0.232	23.0	14.556	0.71	27.0	13.882	0.609	ea
50763713.0	82.11343175	3.10332575	0.254044	0.0	0.0	0.0	22.0	18.122	0.637	22.0	17.57	0.635	ew
50904287.0	83.302147	3.489262	0.3454	10.0	16.08	0.242	16.0	15.697	0.172	20.0	15.163	0.244	ew
50908143.0	83.33577967	3.35131933	0.375496	31.0	16.403	0.505	25.0	16.021	0.463	23.0	15.604	0.422	ew
50918999.0	83.430397	3.020648	0.210594	22.0	17.586	0.237	22.0	16.851	0.227	24.0	16.316	0.229	ew
50924899.0	83.48184167	3.172745	0.55331	32.0	16.637	0.626	24.0	16.388	0.343	29.0	16.065	0.566	ew
50001918.0	75.02135967	2.73424333	0.395974	28.0	14.605	0.23	30.0	14.42	0.21	28.0	14.123	0.208	ew
50002096.0	75.02335867	2.76072033	0.257872	31.0	16.847	0.85	30.0	16.278	0.767	26.0	15.672	0.646	ew
50023449.0	75.2553624	2.507166	0.257276	31.0	16.45	0.297	31.0	15.921	0.266	27.0	15.348	0.259	ew
50085280.0	75.892901	2.69298467	0.347349	30.0	15.275	0.65	31.0	14.965	0.659	30.0	14.551	0.663	ew
50167431.0	76.762974	2.864152	0.248298	0.0	0.0	0.0	26.0	15.165	0.237	24.0	14.71	0.213	ew
50170439.0	76.79559833	2.73837	0.35154	28.0	17.086	0.444	21.0	16.837	0.458	25.0	16.552	0.483	ew
50208473.0	77.19263233	2.94659367	0.367198	31.0	15.442	0.64	28.0	15.156	0.392	29.0	14.445	0.421	ew
50344583.0	78.4499435	2.7200025	0.331664	33.0	17.335	0.713	26.0	16.989	0.671	30.0	16.552	0.755	ew
50429839.0	79.219818	2.3810855	0.2737	22.0	16.182	0.541	30.0	16.114	0.493	29.0	15.902	0.531	ea
50431451.0	79.2348175	2.861366	0.23865	17.0	17.78	0.471	27.0	17.206	0.376	24.0	16.729	0.334	ew
50472102.0	79.61578133	2.58110767	0.286322	28.0	18.459	0.619	24.0	18.374	0.454	24.0	17.641	0.431	ew
50500557.0	79.883224	2.681348	0.346462	26.0	17.495	0.883	27.0	17.239	0.501	29.0	16.792	0.57	ew
50517261.0	80.0367545	2.76284	0.852987	29.0	18.377	0.883	27.0	18.1	0.838	26.0	17.641	0.655	ea
50544270.0	80.2823755	2.777749	0.26412	31.0	17.577	0.367	28.0	17.082	0.236	26.0	16.587	0.313	ew
50563048.0	80.45253	2.446568	0.273228	18.0	17.633	0.608	15.0	17.084	0.695	28.0	16.504	0.844	ew
50601247.0	80.789256	2.61005	0.376091	31.0	18.98	0.465	24.0	17.561	0.365	25.0	17.018	0.444	ew
50638865.0	81.10316367	2.64767333	0.267213	31.0	16.831	0.441	27.0	16.474	0.45	25.0	16.02	0.377	ew
50729302.0	81.84106167	2.590288	0.273402	30.0	16.944	0.329	28.0	16.472	0.766	14.0	15.938	0.673	ew
50762725.0	82.1055605	2.6524135	0.615163	30.0	17.714	0.679	28.0	17.537	0.904	25.0	17.216	0.648	ea
50764864.0	82.1227875	2.502784	0.543618	29.0	15.473	0.342	32.0	15.372	0.332	29.0	15.093	0.297	ew
50769506.0	82.160671	2.610457	5.001028	32.0	17.342	0.441	28.0	17.031	0.441	27.0	16.517	0.463	ea
50820059.0	82.580915	2.67710867	0.331189	22.0	17.14	0.353	21.0	16.937	0.416	27.0	16.589	0.415	ew
50830997.0	82.6729505	2.564033	0.258346	32.0	16.721	0.463	31.0	16.292	0.433	28.0	15.724	0.418	ew
50842277.0	82.76739233	2.74705933	0.264612	29.0	17.923	0.631	30.0	17.149	0.564	24.0	16.609	0.431	ew

50896884.0	83.237564	2.4973115	1.085868	22.0	16.14	0.312	28.0	15.303	0.268	25.0	14.236	0.17	ew
50963755.0	83.8056715	2.474587	0.278313	31.0	16.124	0.351	28.0	15.816	0.34	25.0	15.357	0.392	ew
50977666.0	83.9200705	2.473842	0.280524	29.0	18.193	0.488	28.0	17.798	0.49	24.0	17.237	0.419	ew
50982065.0	83.9573745	2.319898	0.317424	17.0	17.734	0.526	21.0	17.415	0.737	16.0	17.246	0.499	ew
51010242.0	84.1946755	2.780971	0.481214	33.0	17.149	0.832	29.0	16.829	0.495	26.0	16.363	0.821	ea
51037363.0	84.4230115	2.484699	0.272899	31.0	17.424	0.654	30.0	16.943	0.54	25.0	16.344	0.548	eb
51054715.0	84.566743	2.7384075	0.410486	25.0	18.306	0.479	24.0	18.12	0.529	23.0	17.804	0.592	ew
51057009.0	84.585491	2.696162	0.442128	30.0	17.515	0.682	29.0	17.255	0.447	26.0	16.831	0.464	ew
51075504.0	84.7416	2.6103767	1.257338	32.0	16.117	0.476	31.0	15.503	0.427	24.0	14.742	0.372	ea
51111826.0	85.0475195	2.438502	0.358006	0.0	0.0	0.0	19.0	15.615	1.654	26.0	15.053	0.626	ea
51142474.0	85.31574767	2.455767	0.299966	24.0	17.775	0.604	21.0	17.229	0.551	26.0	16.53	0.502	ew
51186265.0	85.70295	2.38037367	0.373082	30.0	17.923	0.334	29.0	17.509	0.339	27.0	16.751	0.307	ew
51219918.0	85.989048	2.5251925	1.105779	32.0	17.046	0.463	30.0	16.791	0.44	22.0	16.304	0.426	ea
51271397.0	86.4312665	2.640945	0.379268	28.0	17.214	0.245	31.0	16.384	0.251	29.0	15.362	0.201	ew
51277283.0	86.483696	2.660714	0.619167	26.0	16.43	0.268	26.0	16.105	0.269	28.0	15.538	0.259	eb
51343222.0	87.06395733	2.67190133	0.38899	20.0	16.322	0.462	20.0	15.679	0.368	27.0	14.884	0.436	ew
51377218.0	87.338102	2.71662233	0.298534	26.0	18.336	0.328	24.0	17.689	0.35	19.0	16.995	0.462	ew
51389941.0	87.435036	2.743573	0.284633	0.0	0.0	0.0	24.0	13.938	0.252	24.0	13.314	0.41	ea
51400315.0	87.5132865	2.782019	0.244384	29.0	17.597	0.378	29.0	16.94	0.528	30.0	16.12	0.498	ew
51448179.0	87.88112867	2.42367767	0.322144	23.0	16.132	0.355	26.0	15.319	0.331	28.0	14.284	0.306	ew
51496170.0	88.26512895	2.782266	0.45666	30.0	17.294	0.29	27.0	16.141	0.247	24.0	14.658	0.251	ew
51588391.0	88.99262	2.70168333	0.266806	30.0	17.696	0.454	28.0	16.684	0.388	26.0	15.409	0.335	ew
51616253.0	89.2016375	2.8103895	0.470592	0.0	0.0	0.0	20.0	15.524	0.297	26.0	14.575	0.274	ew
51702352.0	89.77417	2.411622	0.365044	28.0	18.318	0.587	27.0	17.849	0.383	27.0	17.089	0.541	ew
51705410.0	89.79421733	2.87113267	0.954722	14.0	16.101	0.291	23.0	15.257	0.571	23.0	14.194	0.372	ea
51724407.0	89.9153575	2.43799275	0.287766	7.0	17.894	0.517	0.0	0.0	0.0	21.0	16.218	0.447	ea
50051435.0	75.54084767	1.569256	0.3245	19.0	15.225	0.375	0.0	0.0	0.0	10.0	14.284	0.502	ew
50158220.0	76.66167389	1.59909822	0.37686	52.0	18.063	0.394	22.0	17.799	0.323	9.0	17.575	0.24	ew
50188208.0	76.98215909	1.67735108	1.956596	46.0	14.945	0.58	19.0	14.657	0.215	4.0	14.295	0.196	ea
50217451.0	77.28344236	1.66909809	0.268538	66.0	18.58	0.759	26.0	18.27	0.656	9.0	17.78	0.544	ew
5023989.0	77.49864317	1.62279683	0.31293	87.0	17.196	0.648	22.0	16.824	0.507	7.0	16.366	0.464	ew
50266894.0	77.74293725	1.579863	0.571482	71.0	15.096	0.784	0.0	0.0	0.0	6.0	14.34	0.371	eb
50295394.0	78.00168342	1.95994225	0.274138	82.0	18.568	1.197	42.0	18.037	0.866	25.0	17.422	0.986	ew
50339740.0	78.40736453	1.82603114	0.383845	104.0	17.095	0.889	37.0	16.532	0.87	48.0	15.866	0.617	ea
50435681.0	79.2740705	2.2498025	0.385722	17.0	17.4	0.497	0.0	0.0	0.0	16.0	16.44	0.437	ew
50457846.0	79.483154	2.186669	0.586132	27.0	13.828	0.568	11.0	13.896	0.383	0.0	0.0	0.0	eb
50484048.0	79.72898016	1.67156178	7.648866	83.0	14.944	0.499	57.0	14.631	0.456	35.0	14.252	0.424	ew
50545498.0	80.293345	1.63343067	3.138798	94.0	14.681	0.303	47.0	14.491	0.268	62.0	14.214	0.299	ea
50565630.0	80.47606675	1.91722764	1.995142	121.0	15.428	0.351	73.0	14.517	0.361	79.0	13.425	0.215	ew
50569288.0	80.50882828	1.82062894	1.351627	106.0	16.29	0.485	67.0	15.715	0.473	69.0	15.092	0.441	ea
50583707.0	80.637088	2.00174458	0.28797	91.0	18.643	1.97	80.0	18.076	0.605	63.0	17.583	0.624	ew
50599532.0	80.77486283	1.64757	2.071471	81.0	17.236	0.363	46.0	16.153	0.38	66.0	14.544	0.554	ew
50600809.0	80.7857315	1.8924215	0.275578	117.0	14.074	0.23	70.0	13.696	0.227	74.0	13.308	0.421	ew
50602623.0	80.80175575	2.18559925	1.91986	27.0	16.916	0.608	21.0	16.453	0.926	0.0	0.0	0.0	ea
50607212.0	80.84112264	1.9723481	22.161642	114.0	15.784	0.361	74.0	14.845	0.294	85.0	13.77	0.132	ew
50611629.0	80.878788	1.85522738	2.480004	111.0	14.847	0.488	62.0	14.045	0.375	50.0	13.197	0.368	ew
50627432.0	81.00957249	1.88931696	14.369345	123.0	16.519	0.517	66.0	15.498	0.217	73.0	14.108	0.176	ew
50650756.0	81.19908244	1.60795033	0.97408	80.0	15.64	0.35	51.0	14.705	0.335	60.0	13.604	0.334	ew
50650776.0	81.19923286	1.91576861	11.945795	112.0	16.532	0.383	74.0	15.521	0.313	84.0	14.175	0.244	ew
50674665.0	81.39657666	1.72800128	9.984332	108.0	17.384	0.908	67.0	16.34	0.329	77.0	14.6	0.373	ew
60016997.0	90.150669	3.0621235	1.00562	24.0	14.726	0.203	17.0	14.252	0.286	0.0	0.0	0.0	ea
60055689.0	90.45071	3.2596985	0.31577	0.0	0.0	0.0	21.0	18.147	0.529	21.0	17.361	0.466	ew
60067115.0	90.538372	3.1891665	0.633061	23.0	16.415	0.577	19.0	15.939	0.556	21.0	15.329	0.541	eb

60108336.0	90.849182	3.475028	0.34461	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	16.441	0.311	15.511	0.308	ew
60122929.0	90.955696	3.436872	0.394782	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	17.138	0.4	16.916	0.429	ew
60125947.0	90.977699	3.3509235	0.450696	21.0	17.258	0.194	0.0	0.0	22.0	16.769	0.26	16.124	0.203	ea
60140676.0	91.0621	3.3129465	0.42413	18.0	16.776	0.322	17.0	16.337	17.0	16.337	0.26	15.729	0.267	ew
60141980.0	91.0912705	3.0433085	0.29966	17.0	17.388	0.448	0.0	0.0	17.0	16.87	0.208	16.253	0.274	ew
60170125.0	91.297096	3.006601	0.35536	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	14.924	0.371	14.159	0.368	ew
60198321.0	91.4935115	3.187582	0.22044	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	18.088	0.496	17.055	0.391	ew
60239219.0	91.777439	3.02816	0.35906	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	16.176	0.216	15.496	0.259	ew
60256411.0	91.90391925	3.388723	0.469482	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	15.168	0.218	14.438	0.224	ew
60066489.0	90.53349633	2.59212367	0.279578	8.0	19.26	0.409	21.0	18.51	18.51	18.51	0.421	17.601	0.345	ew
60065209.0	90.675842	2.60578167	0.331916	15.0	17.06	0.602	26.0	16.514	26.0	16.514	0.664	15.77	0.711	ew
60184115.0	91.395962	2.777059	0.280608	14.0	18.397	0.361	25.0	17.745	26.0	17.745	0.338	16.733	0.324	ew
60205385.0	91.54150667	2.359432	0.519226	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	16.568	0.201	15.97	0.277	ew
60208374.0	91.56149033	2.7092	2.693348	13.0	15.286	0.452	19.0	14.768	19.0	14.768	0.455	14.116	0.466	ea
60247522.0	91.837189	2.757191	0.44978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	16.904	0.256	16.039	0.276	ew
60011185.0	90.10157739	1.92025709	0.423944	48.0	18.476	0.614	34.0	17.855	24.0	17.128	0.458	17.128	0.458	ew
60039749.0	90.32964422	1.71467256	0.932617	24.0	18.293	0.415	27.0	17.859	14.0	17.859	0.606	17.086	0.63	ea
60042851.0	90.35268539	1.59209011	0.415898	23.0	15.819	0.262	19.0	15.141	21.0	15.141	0.21	14.701	0.195	ew
60043180.0	90.355353	2.04394617	0.176911	45.0	16.051	0.125	28.0	15.498	26.0	15.498	0.283	14.881	0.225	ea
60056105.0	90.45401871	1.85084759	0.296212	42.0	16.61	0.504	29.0	16.096	19.0	16.096	0.266	15.662	0.275	ew
60070880.0	90.56724328	2.04498516	0.193464	34.0	17.663	0.28	27.0	16.799	34.0	16.799	0.347	15.934	0.317	ew
60096414.0	90.76016525	1.986699	0.363064	27.0	16.821	0.739	35.0	16.312	21.0	16.312	0.932	15.678	0.64	ew
60101749.0	90.79964842	1.9395228	1.656538	26.0	17.469	0.379	35.0	17.207	23.0	17.207	0.341	16.713	0.404	ea
60120445.0	90.93783586	1.93829317	0.302146	26.0	17.447	0.325	33.0	16.925	33.0	16.925	0.331	16.242	0.344	ew
6012216.0	90.95135061	1.93885595	0.310138	24.0	15.676	0.245	33.0	15.212	22.0	15.212	0.348	14.575	0.235	ew
60174712.0	91.32978425	1.89678489	0.25731	20.0	17.917	0.19	35.0	17.316	21.0	17.316	0.252	16.65	0.203	ew
60180976.0	91.37421259	2.08412417	0.392771	17.0	18.206	0.419	30.0	17.763	30.0	17.763	0.303	17.183	0.418	eb
60207206.0	91.55337078	2.03851133	0.355008	18.0	17.906	0.569	28.0	17.394	27.0	17.394	0.315	16.937	0.274	ew
60259861.0	91.92969722	1.75829319	0.420564	17.0	16.925	0.43	22.0	16.158	23.0	16.158	0.382	15.512	0.492	ew
60260561.0	91.934733	1.998455	0.345256	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	17.787	0.303	17.04	0.241	ew
60277092.0	92.054457	2.05071019	0.344876	16.0	16.057	0.379	25.0	15.485	24.0	15.485	0.444	14.814	0.327	ew
60277148.0	92.05482975	2.075851	0.28537	15.0	18.151	0.326	23.0	17.482	21.0	17.482	0.36	16.664	0.391	ew
60287333.0	92.1283835	2.00478517	1.43244	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	17.081	0.628	16.162	0.518	ea
60289718.0	92.14647256	1.88380378	0.436834	20.0	17.068	0.258	29.0	16.356	19.0	16.356	0.296	15.483	0.303	ea
60382705.0	92.823475	1.9528345	0.279626	13.0	17.939	0.673	22.0	17.157	11.0	17.157	0.603	16.242	0.443	ew
60490130.0	93.58635756	1.758019	0.368545	12.0	17.086	0.274	21.0	16.622	17.0	16.622	0.435	16.016	0.394	ea
60567429.0	94.17646	2.06118784	0.315406	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	18.295	0.331	17.749	0.32	ew
60578294.0	94.2563135	1.90371817	0.3151	12.0	17.877	0.238	11.0	17.365	15.0	17.365	0.236	16.898	0.253	ew
60585354.0	94.30641094	1.8331285	0.456238	12.0	17.613	0.596	11.0	17.297	18.0	17.297	0.498	16.798	0.548	ew
60615578.0	94.517797	1.8267411	0.352552	15.0	15.968	0.517	11.0	15.517	18.0	15.517	0.354	15.194	0.325	ew
60618398.0	94.5368545	1.9088745	0.266254	12.0	18.261	0.558	10.0	17.519	18.0	17.519	0.269	16.713	0.464	ew
60840875.0	96.23765706	1.8037065	0.483792	14.0	18.667	0.285	7.0	18.081	12.0	18.081	0.318	17.615	0.412	ew
60878443.0	96.52515744	1.95745622	0.837758	18.0	17.225	0.682	10.0	16.808	11.0	16.808	0.602	16.138	0.573	ea
40508623.0	74.27485275	5.33473525	1.388308	17.0	18.313	0.326	11.0	17.917	0.0	17.917	0.326	0.0	0.0	ew
40539169.0	74.633373	4.2024925	0.447356	20.0	14.882	0.318	12.0	14.452	0.0	14.452	0.264	0.0	0.0	ew
40410911.0	73.104271	4.56914525	0.383036	16.0	17.904	0.242	20.0	17.504	0.0	17.504	0.362	0.0	0.0	ew
40419252.0	73.20995125	4.77186225	0.317324	12.0	16.006	0.363	19.0	15.481	0.0	15.481	0.38	0.0	0.0	ew
40517233.0	74.3755225	4.6590225	0.25372	19.0	17.86	0.52	17.0	17.498	0.0	17.498	0.352	0.0	0.0	ew
40421225.0	73.233696	3.5978745	2.066818	19.0	14.989	0.419	20.0	14.817	22.0	14.817	0.626	14.694	0.565	ea
40458997.0	73.6945415	3.648009	0.287152	21.0	15.136	0.51	20.0	14.685	21.0	14.685	0.533	14.277	0.494	ew
40494440.0	74.11244967	3.54062533	0.352848	18.0	14.3	0.288	9.0	13.973	14.0	13.973	0.179	13.509	0.234	ew
40556678.0	74.83922605	3.9690645	0.410605	51.0	15.835	0.35	37.0	15.631	32.0	15.631	0.284	15.442	0.195	ew

40567663.0	74.967861	3.562252	0.333408	26.0	18.13	0.379	15.0	17.817	0.397	0.0	0.0	ew
50057618.0	75.60554856	5.75843006	0.394096	15.0	15.198	0.463	19.0	14.975	0.33	24.0	14.522	ew
50088742.0	75.92770567	5.67430817	0.517262	19.0	15.295	0.455	18.0	15.059	0.28	19.0	14.625	ew
50096181.0	76.00133828	5.79369933	0.291922	16.0	16.848	0.339	17.0	16.293	0.32	20.0	15.762	ea
50107075.0	76.11169622	5.56829522	0.730026	18.0	15.099	0.398	16.0	14.927	0.447	21.0	14.623	ea
50148458.0	76.55527194	5.821548	1.372894	13.0	18.469	0.7	16.0	17.389	0.416	20.0	16.239	ea
50189044.0	76.89140883	5.72902722	0.259445	19.0	15.762	0.497	17.0	15.5	0.463	20.0	15.008	ew
50207297.0	77.18167306	5.86626456	0.203113	20.0	17.022	0.616	18.0	16.386	0.613	14.0	15.966	ew
50216332.0	77.27266356	5.88113406	0.46696	19.0	16.119	0.642	19.0	15.71	0.618	22.0	15.123	ea
50283773.0	77.89878789	5.68789789	0.282898	17.0	17.28	0.476	16.0	17.063	0.506	20.0	16.637	ew
50434226.0	79.34506556	5.90648844	0.548854	16.0	15.837	0.61	18.0	15.227	0.207	23.0	14.249	ew
50467272.0	79.57032061	5.622784	0.389988	16.0	15.472	0.576	20.0	15.096	0.398	16.0	14.703	ew
50592282.0	80.71138472	5.73228661	0.320384	16.0	17.935	0.4	19.0	17.459	0.291	20.0	16.937	ew
50653408.0	81.22001478	5.74281372	0.388638	14.0	16.494	0.274	19.0	16.281	0.285	22.0	15.8	ew
50691067.0	81.53220878	5.88029411	1.129948	18.0	14.638	0.257	20.0	14.553	0.262	20.0	14.142	ew
50724279.0	81.80197294	5.98868322	0.250338	16.0	18.348	0.624	16.0	18.088	0.436	21.0	17.371	ew
50793492.0	82.35721067	5.83179817	0.264894	17.0	16.515	0.242	17.0	15.863	0.248	17.0	15.103	ew
50828615.0	83.11255344	5.99973294	0.326148	19.0	15.523	0.464	18.0	15.068	0.502	20.0	14.266	ew
50891351.0	83.189453	5.72582322	0.279202	22.0	16.35	0.315	18.0	15.826	0.264	21.0	15.177	ew
50916933.0	83.41271712	5.81559728	1.241474	17.0	15.855	0.563	16.0	15.744	0.496	21.0	15.32	ew
50957494.0	83.75389706	5.5654035	0.48729	20.0	17.444	0.727	13.0	17.108	0.733	19.0	16.505	ew
51026720.0	84.33305883	5.81475917	0.45626	18.0	14.501	0.362	16.0	14.229	0.334	17.0	13.612	ew
51072869.0	84.7191945	5.61887189	0.40529	15.0	17.602	0.555	17.0	17.158	0.543	19.0	16.52	ew
50064487.0	75.68061217	5.07014183	0.555266	21.0	15.782	0.541	12.0	15.639	0.381	20.0	15.427	ew
50400992.0	78.95661017	5.21046017	0.272656	22.0	15.567	0.593	13.0	15.208	0.488	20.0	14.609	ew
50432084.0	79.1571385	5.26203383	0.291804	20.0	17.341	0.372	15.0	16.905	0.25	21.0	16.152	ew
50434679.0	79.26457083	5.21278333	0.95828	21.0	16.139	0.388	15.0	15.925	0.363	21.0	15.49	ew
50486089.0	79.47876167	5.23114133	0.260532	16.0	16.769	0.62	16.0	16.315	0.422	19.0	15.846	ew
50488408.0	79.77018733	5.171224	0.699606	18.0	17.565	0.729	15.0	16.823	0.656	22.0	15.824	ew
50607820.0	80.84634883	5.290036	0.576858	20.0	17.525	0.45	14.0	17.3	0.46	17.0	17.209	ew
50658547.0	81.262865	5.03111325	1.286026	20.0	15.04	0.343	15.0	14.869	0.208	0.0	0.0	ew
50698135.0	81.5900995	5.29900375	0.282826	20.0	17.129	0.502	0.0	0.0	0.0	18.0	15.961	ew
50738950.0	82.36074083	5.069243	0.296002	23.0	15.859	0.326	14.0	15.58	0.325	19.0	15.205	ew
50912009.0	83.36939117	5.26496417	0.353496	20.0	16.84	0.653	14.0	16.371	0.516	19.0	15.738	ew
50939657.0	83.60575117	5.08963583	0.257598	20.0	16.879	0.662	14.0	16.369	0.651	21.0	15.791	ew
50951000.0	83.70023967	5.07227633	2.90498	20.0	18.205	0.775	14.0	17.449	0.614	21.0	16.499	ew
50952250.0	83.71084083	5.00152387	0.24115	21.0	16.951	0.487	9.0	16.746	0.285	17.0	15.959	ew
50961355.0	83.78661467	5.09232483	0.299252	23.0	17.414	0.482	15.0	17.107	0.425	22.0	16.613	ew
51006204.0	84.1605835	5.3400325	0.060061	0.0	0.0	0.0	12.0	18.764	0.288	19.0	17.045	ew
51044826.0	84.48519133	5.041018	2.02277	19.0	17.299	0.788	15.0	16.841	0.672	20.0	16.19	ew
51048972.0	84.52030433	4.99535833	0.319354	17.0	17.182	0.688	10.0	16.401	0.656	19.0	15.531	ew
51090913.0	84.868542	5.3081025	0.285362	23.0	17.279	0.464	14.0	16.346	0.341	0.0	0.0	ew
51188444.0	85.720898	4.986406	0.33915	0.0	0.0	0.0	8.0	14.82	0.236	19.0	14.433	ew
51198026.0	85.8024775	5.33633833	0.315734	20.0	16.643	0.391	13.0	16.02	0.29	18.0	15.525	ew
51274299.0	86.45731617	5.1917255	0.369856	20.0	16.089	0.486	11.0	15.298	0.469	20.0	14.485	ew
51297128.0	86.65921783	5.15545183	0.457484	19.0	15.995	0.443	13.0	15.439	0.388	17.0	14.828	ew
51310859.0	86.78234483	5.2698845	0.35111	20.0	17.98	0.371	8.0	17.537	0.266	20.0	16.853	ew
51340891.0	87.04452267	5.26646167	0.448878	18.0	16.01	0.255	13.0	15.423	0.216	16.0	14.775	ew
51347369.0	87.0990715	5.17294167	0.522042	15.0	16.908	0.638	11.0	15.089	0.535	17.0	14.549	ew
51439824.0	87.81657533	5.36860517	0.519836	18.0	16.908	0.558	11.0	16.592	0.492	18.0	16.069	ew
51556152.0	88.7464625	5.072098	0.214918	18.0	16.74	0.443	13.0	15.565	0.614	18.0	15.06	ew
51635765.0	89.33953517	5.2439765	0.42778	19.0	16.721	0.488	12.0	15.927	0.488	17.0	15.141	ew
51699218.0	89.753722	5.3161615	0.292348	20.0	17.624	0.335	12.0	16.754	0.243	15.0	15.328	ew

50116858.0	76.21348333	4.41846367	0.259296	16.0	17.76	0.604	15.0	17.28	0.471	13.0	16.704	0.45	ew
50141196.0	76.47604267	4.547165	0.45564	21.0	16.5	0.468	16.0	16.052	0.378	19.0	15.627	0.439	ew
5061013.0	76.643011	3.6868265	0.292902	33.0	16.873	0.291	26.0	16.512	0.263	26.0	16.247	0.188	ew
50128282.0	76.33779325	3.812147	0.453925	51.0	13.688	0.457	10.0	13.523	0.219	0.0	0.0	0.0	ew
50251372.0	77.60489508	3.96631895	0.342414	50.0	16.528	0.36	36.0	16.133	0.335	36.0	15.789	0.318	ew
50271843.0	77.7882285	3.99025067	0.366753	45.0	17.933	0.483	36.0	17.497	0.457	36.0	17.138	0.661	eb
50276127.0	77.82890289	3.98075489	0.274833	34.0	18.731	0.573	35.0	18.026	0.682	33.0	17.435	0.748	ew
50279491.0	77.86053491	3.81617975	0.406454	45.0	17.754	0.716	30.0	17.334	0.276	33.0	17.195	0.314	ew
50294558.0	77.994621	3.6411635	1.853832	32.0	18.125	0.368	19.0	17.526	0.351	20.0	16.928	0.201	ew
50298388.0	78.02738583	3.83457125	1.993908	44.0	18.348	0.482	33.0	17.979	0.439	28.0	17.468	0.527	ew
50311100.0	78.143246	3.584024	0.257459	32.0	14.908	0.218	17.0	14.291	0.239	18.0	13.81	0.14	ew
50335109.0	78.36574211	3.74252822	0.320764	43.0	15.568	0.427	35.0	15.045	0.353	35.0	14.591	0.339	ew
50349482.0	78.4959985	3.662602	0.549157	32.0	14.985	0.445	23.0	14.767	0.369	24.0	14.572	0.346	eb
50369474.0	78.6757165	3.6910635	1.915366	35.0	15.081	0.497	27.0	14.629	0.482	26.0	14.249	0.453	ea
50386575.0	78.8288745	3.85137638	0.238217	43.0	16.225	0.334	39.0	15.369	0.426	29.0	14.849	0.356	ea
50390110.0	78.85995487	3.85233837	0.535344	48.0	14.095	0.662	36.0	13.885	0.446	27.0	13.777	0.4	ew
50392433.0	78.8807075	3.85264213	0.434406	47.0	13.777	0.35	29.0	13.536	0.307	0.0	0.0	0.0	eb
50424009.0	79.16572533	3.57321967	0.561312	28.0	17.198	0.329	13.0	16.635	0.26	19.0	16.323	0.289	ea
50431752.0	79.23734711	4.13486311	0.313392	19.0	16.039	0.345	22.0	15.367	0.361	13.0	15.004	0.268	ew
50481359.0	79.707359	3.56530333	0.382985	29.0	16.362	0.285	11.0	15.987	0.271	22.0	15.713	0.351	ew
50543256.0	80.27346	3.600181	0.437992	31.0	16.811	0.703	19.0	16.43	0.623	22.0	16.154	0.608	ew
50737252.0	80.290871	3.637513	0.381176	29.0	16.75	0.703	0.0	0.0	0.0	18.0	16.056	0.631	ew
50546307.0	80.300543	3.952893	0.40051	51.0	13.988	0.457	33.0	13.649	0.256	4.0	13.536	0.154	ew
50690051.0	81.5239865	3.640155	0.314708	30.0	16.91	0.436	17.0	16.501	0.432	19.0	16.102	0.506	ew
50703622.0	81.63618067	3.82652084	0.280871	41.0	16.418	0.558	32.0	15.916	0.486	33.0	15.446	0.491	ew
50711451.0	81.69989834	3.87504943	0.51593	49.0	16.966	0.822	32.0	16.386	0.793	21.0	15.826	0.932	ea
50780824.0	82.252192	3.90153108	0.398837	50.0	15.89	0.45	40.0	15.439	0.401	34.0	15.008	0.494	ew
82.304018	82.304018	4.0716083	4.371379	43.0	14.949	0.971	36.0	14.786	0.931	36.0	14.616	0.854	ea
50787908.0	82.39350469	4.07657209	0.344865	27.0	17.5	0.532	39.0	17.085	0.695	27.0	16.642	0.753	ew
50798370.0	82.3974305	3.958302	0.896687	47.0	15.767	0.453	30.0	15.233	0.468	17.0	14.754	0.404	ea
50798398.0	82.39755425	4.114266	0.277574	20.0	16.161	0.715	26.0	15.51	0.697	0.0	0.0	0.0	ew
50801428.0	82.423538	3.6456835	1.019254	28.0	16.91	0.349	20.0	15.082	0.28	19.0	14.373	0.303	ea
50818997.0	82.57199025	3.8120165	0.269308	46.0	17.897	0.337	32.0	17.541	0.326	33.0	17.071	0.355	ew
50823983.0	82.61444216	3.712831	0.484094	36.0	16.309	0.365	22.0	15.983	0.36	21.0	15.682	0.35	ew
50824981.0	82.62270484	3.781309	0.2446	38.0	14.914	0.379	29.0	14.457	0.352	39.0	14.018	0.278	ew
50891971.0	83.195179	3.6396595	0.355848	29.0	17.259	0.697	18.0	16.767	0.719	16.0	16.237	0.599	eb
50911750.0	83.36705161	3.87074506	0.296248	46.0	17.72	0.302	36.0	17.008	0.908	30.0	16.506	0.258	ew
50978560.0	83.92757912	4.03095625	0.353664	46.0	14.409	0.531	33.0	13.77	0.466	0.0	0.0	0.0	ew
50991946.0	84.0403595	3.70132725	0.221948	32.0	17.705	0.726	23.0	16.938	0.875	25.0	16.238	0.617	ew
51015973.0	84.24217291	3.90570379	0.377194	55.0	17.186	0.646	42.0	16.683	0.623	30.0	16.224	0.6	ew
51065437.0	84.6565685	3.79275775	0.360882	41.0	17.06	1.988	28.0	16.464	0.51	33.0	15.957	0.509	ew
51143378.0	85.32336979	3.92311787	0.293754	46.0	18.286	0.897	35.0	17.274	0.57	18.0	16.299	0.53	ew
51151082.0	85.3935815	3.6277335	0.285084	30.0	16.028	0.555	15.0	15.206	0.471	16.0	14.488	0.461	eb
51137669.0	85.45341683	3.75229366	1.41928	38.0	18.692	0.391	31.0	17.887	0.474	28.0	17.338	0.38	ea
51185766.0	85.69874247	3.87449897	21.61681	51.0	17.242	0.822	40.0	16.842	0.661	26.0	16.338	0.579	ea
51189789.0	85.732372	3.6160015	0.268334	29.0	18.683	0.643	18.0	17.641	0.691	21.0	17.045	0.51	ew
51199913.0	85.8189085	3.591164	0.573352	27.0	18.285	0.361	16.0	17.58	0.343	16.0	17.023	0.275	ew
51231435.0	86.08805633	3.78963387	0.320532	42.0	18.019	1.381	27.0	17.205	0.39	0.0	0.0	0.0	ew
51235641.0	86.12353925	3.9323055	0.333922	49.0	16.054	0.599	41.0	15.241	0.381	34.0	14.452	0.706	ew
51239506.0	86.15596117	3.806859	0.28362	44.0	16.936	1.243	26.0	15.954	0.24	36.0	15.101	0.212	ew
51242499.0	86.18111533	4.03452686	1.134978	46.0	15.372	0.526	36.0	14.733	0.545	37.0	14.134	0.483	ea
51249595.0	86.2416495	3.723104	2.05702	40.0	16.918	0.656	33.0	16.054	0.41	36.0	15.156	0.43	ea
51287703.0	86.575722	3.6424605	0.69964	28.0	16.468	0.673	15.0	15.981	0.635	17.0	15.511	0.575	ew

5129247.0	86.6157338	3.97777464	0.4179889	47.0	17.055	0.584	38.0	16.099	0.384	35.0	15.427	0.373	ew
51329779.0	86.94937133	3.99280192	0.359148	22.0	18.999	0.908	32.0	18.251	0.802	33.0	17.421	0.819	ew
51353765.0	87.150344	4.053871	9.98573	31.0	16.911	0.496	37.0	15.682	0.447	33.0	14.244	0.296	ew
51358312.0	87.1872255	3.6911925	0.329368	29.0	18.447	0.486	25.0	17.872	0.476	24.0	17.27	0.405	ew
51413573.0	87.61448133	4.14862183	0.275704	19.0	17.961	0.74	17.0	17.137	0.538	16.0	16.346	0.417	ew
51551470.0	88.71040333	4.02364308	0.492294	40.0	18.079	0.867	39.0	17.03	0.362	35.0	15.908	0.371	ew
51554869.0	88.738666	3.601814	0.344782	26.0	16.257	0.376	19.0	15.121	0.37	20.0	13.935	0.357	ew
51633384.0	89.323516	3.7168208	2.528416	40.0	17.257	0.541	30.0	16.464	0.539	27.0	15.62	0.281	ea
51637836.0	89.35450833	3.96382642	0.458783	43.0	15.132	0.551	40.0	14.494	0.512	22.0	13.833	0.504	ew
51647088.0	89.411720871	4.00093175	0.381466	36.0	18.714	0.703	35.0	17.942	0.605	35.0	17.197	0.626	ew
51662663.0	89.51852433	3.57060933	0.257137	27.0	17.798	0.668	16.0	16.832	0.579	20.0	15.978	0.508	ew
51705107.0	89.7921105	3.594316	0.330176	29.0	16.408	0.346	17.0	15.714	0.313	17.0	15.069	0.277	ew
40083051.0	65.6370355	-1.960987	0.352228	32.0	14.334	0.328	0.0	0.0	0.0	25.0	13.532	0.314	ew
40141914.0	68.06778433	-1.99506725	0.409572	36.0	15.988	0.523	27.0	15.615	0.527	30.0	15.165	0.588	ew
40152097.0	68.4100155	-1.98862775	0.267945	32.0	17.923	0.666	25.0	17.192	0.414	30.0	16.601	0.459	ew
40187353.0	68.93174467	-2.28069267	0.2619	26.0	17.747	0.358	17.0	17.318	0.277	22.0	16.618	0.301	ew
40214294.0	70.131836	-2.3441995	1.21665	25.0	14.219	0.489	14.0	13.936	0.442	20.0	13.554	0.512	ew
40216809.0	70.17984633	-2.3856105	0.622373	24.0	16.069	0.237	16.0	15.764	0.22	19.0	15.39	0.331	ew
40330828.0	72.06851658	-1.92467608	0.281702	30.0	16.043	0.336	24.0	15.526	0.331	29.0	14.969	0.502	ew
40413074.0	73.17509116	-2.0549605	0.402744	44.0	16.075	0.329	28.0	14.598	0.263	32.0	14.079	0.272	ew
40478116.0	73.96443009	-2.10613925	0.230994	36.0	17.529	0.419	26.0	17.338	0.375	30.0	16.498	0.296	ew
50499158.0	79.85534567	-0.6952395	0.25607	58.0	17.81	0.785	14.0	17.441	0.645	47.0	16.941	0.615	ew
50527821.0	80.11707583	-0.5338825	0.331654	68.0	15.832	0.768	10.0	15.468	0.392	41.0	14.929	0.489	ew
50579339.0	80.58206039	-0.62999978	0.251444	60.0	16.839	0.843	43.0	16.358	0.846	45.0	15.74	0.795	ew
50633608.0	81.20439325	-1.0327645	0.247476	19.0	17.356	0.565	0.0	0.0	0.0	43.0	16.105	0.583	ew
50727066.0	81.80472583	-0.69510067	0.252755	44.0	18.283	0.72	54.0	17.783	0.766	80.0	17.3	0.667	ew
50765017.0	82.103981	-0.544701	0.33982	62.0	16.808	0.683	48.0	16.372	0.627	87.0	15.797	0.632	ew
50771876.0	82.15777217	-0.74536667	0.296868	61.0	16.16	0.298	59.0	15.667	0.239	102.0	14.912	0.225	ew
50815994.0	82.52323167	-0.987821	0.160602	27.0	16.599	0.214	55.0	16.216	0.304	98.0	15.673	0.175	ew
50837510.0	82.70301211	-0.68283583	0.399742	64.0	16.958	0.209	57.0	16.67	0.129	98.0	16.139	0.265	ew
51033757.0	84.3590945	-0.89752125	1.054704	62.0	15.906	0.63	63.0	14.932	0.927	0.0	0.0	0.0	ew
51047175.0	84.47190833	-0.82396067	0.151056	64.0	15.143	0.268	80.0	15.236	0.249	108.0	15.175	0.291	ew
51204961.0	85.81996439	-0.81551106	0.27299	60.0	17.842	0.46	57.0	17.032	0.356	111.0	15.993	0.456	ew
51394111.0	87.41903033	-0.61462283	0.340704	30.0	18.34	0.268	48.0	17.495	0.297	65.0	16.659	0.344	ew
50535283.0	80.185707	-1.154339	2.999038	37.0	15.736	1.029	4.0	15.392	1.06	38.0	14.911	0.131	ea
50761981.0	82.07970433	-1.56100733	0.314352	26.0	18.487	0.461	45.0	18.132	0.48	65.0	17.801	0.5	ew
50788205.0	82.29049567	-1.4188235	0.356702	42.0	15.368	0.333	53.0	14.819	0.324	91.0	14.197	0.329	ew
50789669.0	82.30236583	-1.44036633	0.243004	49.0	15.777	0.306	51.0	15.229	0.262	94.0	14.625	0.268	ew
50918295.0	83.3960705	-1.253444	0.2378	0.0	0.0	0.0	45.0	18.008	0.438	84.0	17.624	0.55	ew
50933210.0	83.52346	-1.29801717	0.317658	44.0	17.276	0.437	49.0	16.801	0.427	91.0	16.226	0.537	ew
50936079.0	83.5473175	-1.508712	1.279304	42.0	14.353	0.22	44.0	13.66	0.211	0.0	0.0	0.0	ew
51114393.0	85.033175	-1.323866	0.311562	32.0	17.911	0.583	41.0	17.237	0.452	79.0	16.586	0.444	ew
51397444.0	87.44438517	-1.2442485	2.084334	19.0	16.79	0.243	42.0	15.996	0.425	55.0	15.241	0.461	ea
51409696.0	87.53673333	-1.443647	0.26897	16.0	18.112	0.466	40.0	17.095	0.434	54.0	16.18	0.393	ew
51451903.0	87.860046	-1.540579	0.322718	0.0	0.0	0.0	35.0	17.514	0.591	49.0	16.876	0.588	ew
50130978.0	76.36236433	-1.91095967	0.337271	23.0	15.657	0.384	25.0	15.369	0.408	27.0	15.077	0.341	ew
50313800.0	78.16108961	-2.22942444	0.267061	10.0	14.791	0.475	23.0	14.278	0.559	27.0	14.23	0.516	ew
50379385.0	78.75466833	-2.330647	0.261134	26.0	14.926	0.499	19.0	14.346	0.432	23.0	13.747	0.401	ew
50508606.0	79.942662	-2.25977666	2.766943	47.0	17.36	0.472	23.0	16.423	0.464	43.0	14.719	0.201	ew
50571325.0	80.51056283	-2.01308621	0.379842	76.0	17.359	0.537	36.0	17.0	0.539	70.0	16.608	0.465	ew
50615100.0	80.89174088	-1.93886704	1.420845	58.0	15.71	0.669	71.0	15.267	0.653	67.0	14.813	0.561	ea
60139366.0	91.07258483	-1.97818167	0.36904	29.0	17.038	0.305	21.0	16.479	0.244	23.0	16.007	0.347	ew
60145380.0	91.11534525	-1.984097	0.692108	0.0	0.0	0.0	19.0	15.392	0.291	23.0	15.01	0.4	ew

60152089.0	91.16479783	-1.95505	0.231023	24.0	17.614	0.327	21.0	16.732	0.384	22.0	15.915	0.31	ew
60159436.0	91.2187655	-2.02461667	0.320117	21.0	18.303	0.744	25.0	17.532	0.862	24.0	16.675	0.765	ew
60163855.0	91.249757	-2.1932595	2.366175	29.0	16.808	0.437	17.0	16.503	0.359	0.0	0.0	0.0	ea
60191888.0	91.44943967	-2.207322	0.688433	27.0	16.222	0.49	21.0	16.256	0.308	22.0	15.435	0.516	ew
60270734.0	92.00733433	-2.178337	5.680458	28.0	15.264	0.79	19.0	14.555	0.263	21.0	13.884	0.718	ea
60303130.0	92.24459717	-2.060267	1.519108	33.0	16.754	0.611	18.0	16.788	0.422	23.0	16.33	0.423	ew
60383204.0	92.8963815	-2.2102795	0.571139	27.0	17.545	0.376	15.0	17.064	0.425	22.0	16.572	0.405	ea
60482084.0	93.52243	-2.22896533	0.432377	23.0	17.086	0.424	14.0	16.617	0.318	20.0	16.482	0.457	ew
60734192.0	95.420728	-2.25098017	0.391096	24.0	17.432	0.431	18.0	16.916	0.6	18.0	16.628	0.41	ew
60794577.0	95.88730025	-2.30027275	0.382376	25.0	15.814	0.39	0.0	0.0	0.0	20.0	15.155	0.353	ew
60821662.0	96.0962445	-2.2236435	0.344105	27.0	16.478	0.844	15.0	15.987	0.44	20.0	15.521	0.837	eb
60911824.0	96.78271467	-2.077999	0.278252	19.0	17.757	0.644	14.0	17.158	0.596	15.0	16.568	0.61	ew
60957046.0	97.138605017	-2.24673817	0.32546	24.0	16.717	0.285	16.0	16.137	0.249	20.0	15.627	0.267	ew
60980494.0	97.31467567	-2.26291683	0.694978	23.0	16.204	0.64	16.0	15.775	0.75	20.0	15.288	0.722	ew
61003139.0	97.4848885	-2.26216317	2.266225	26.0	16.302	0.288	19.0	15.715	0.391	20.0	15.122	0.296	ea
61015451.0	97.57675683	-2.283988	0.378681	26.0	17.578	0.315	17.0	16.898	0.274	15.0	16.231	0.306	ew
61270551.0	99.553635	-2.04772333	0.444626	23.0	14.585	0.203	17.0	14.056	0.316	20.0	13.683	0.299	ew
61420027.0	100.67174167	-2.394907	0.863392	22.0	16.896	0.269	19.0	16.072	0.229	18.0	15.247	0.186	ew
61523337.0	101.56036167	-2.27636383	0.484181	25.0	17.174	0.441	18.0	16.609	0.409	16.0	15.997	0.553	ea
61552736.0	101.85247833	-2.25758717	0.506402	25.0	15.576	0.493	20.0	15.078	0.429	25.0	14.579	0.474	ea
61555030.0	101.87664	-2.3355455	0.290172	26.0	16.648	0.393	17.0	16.065	0.314	17.0	15.499	0.287	ew
61606027.0	102.44292	-2.01829333	0.420888	24.0	15.62	0.44	16.0	15.16	0.46	17.0	14.624	0.378	ew
61659198.0	103.002535	-2.38174333	0.370926	20.0	17.199	0.221	18.0	16.714	0.24	18.0	15.892	0.262	ew
70132189.0	106.2579	-2.388964	1.831966	17.0	16.387	0.33	13.0	16.072	0.503	14.0	15.568	0.431	ea
7026274.0	107.42378	-2.20280433	0.395422	17.0	17.276	0.433	13.0	16.673	0.413	15.0	16.112	0.623	ea
70272265.0	107.50962167	-2.0670305	0.419928	19.0	16.362	0.636	10.0	15.983	0.541	11.0	15.466	0.568	ew
70303233.0	107.79399	-2.04156483	0.296626	24.0	16.083	0.383	12.0	15.592	0.26	14.0	14.997	0.304	ew
70317133.0	107.91973	-2.18049467	0.266956	25.0	17.318	0.556	17.0	16.871	0.474	14.0	16.361	0.464	ew
70490735.0	109.43902	-1.986138	0.452734	21.0	16.306	0.321	15.0	16.243	0.271	15.0	15.576	0.373	ew
70497958.0	109.50148667	-2.40014633	1.107432	19.0	15.023	0.321	10.0	14.82	0.234	15.0	14.694	0.221	ew
70505376.0	109.565745	-2.1408745	0.381166	26.0	15.97	0.662	14.0	15.588	0.587	0.0	0.0	0.0	ew
70562794.0	110.048345	-2.161817	0.454722	25.0	14.776	0.316	17.0	14.655	0.304	0.0	0.0	0.0	ew
70579650.0	110.18550333	-2.18175367	1.46909	23.0	16.043	0.217	22.0	15.64	0.293	11.0	15.303	0.255	ew
70620174.0	110.49676333	-2.24006567	0.312064	25.0	16.034	0.368	13.0	15.705	0.276	12.0	15.277	0.301	ew
70654019.0	110.77000875	-2.07878063	0.295616	28.0	16.074	0.3	19.0	15.807	0.307	17.0	15.356	0.263	ew
70876485.0	112.62724	-2.0718175	0.434204	27.0	14.122	0.455	12.0	14.105	0.38	10.0	13.723	0.43	ew
70905977.0	112.86737084	-2.09723525	0.232652	24.0	17.635	0.42	22.0	17.093	0.428	12.0	16.501	0.384	ew
70988368.0	113.52572278	-2.02045716	11.215248	26.0	17.294	0.424	26.0	16.928	0.347	10.0	16.514	0.277	ea
71014867.0	113.74717333	-1.97288967	0.386048	26.0	17.607	0.525	26.0	17.242	0.506	4.0	16.97	0.35	ew
71139917.0	114.8394575	-2.17041975	1.985943	30.0	15.214	0.372	20.0	14.855	0.341	0.0	0.0	0.0	ea
71150616.0	114.9334	-1.93993583	0.37425	20.0	16.617	0.331	26.0	16.133	0.331	17.0	15.669	0.331	ew
71152329.0	114.94806833	-2.03360183	0.290031	19.0	18.372	0.404	24.0	17.914	0.483	19.0	17.436	0.464	ew
71181780.0	115.196855	-1.9467675	0.32188	28.0	16.478	0.477	26.0	15.962	0.454	20.0	15.465	0.458	ew
71208098.0	115.41721333	-2.098727	0.373025	38.0	17.076	0.279	26.0	16.753	0.225	17.0	16.142	0.279	ew
71227790.0	115.57711208	-2.12450833	0.480804	36.0	15.16	0.321	32.0	14.811	0.338	9.0	14.408	0.566	ew
71228914.0	115.58588333	-2.30225667	0.370926	28.0	14.091	0.291	20.0	13.79	0.263	14.0	13.591	0.252	ew
71234225.0	115.627745	-1.934191	0.800368	21.0	15.336	0.36	28.0	15.079	0.359	0.0	0.0	0.0	ew
71243211.0	115.6984975	-2.1433455	0.451264	36.0	14.79	0.537	25.0	14.539	0.483	0.0	0.0	0.0	eb
71298766.0	116.148714	-2.25417508	0.37168	32.0	17.066	0.504	24.0	16.511	0.423	23.0	15.899	0.361	ew
71314286.0	116.34641666	-2.20528589	3.563858	28.0	15.446	0.761	31.0	15.131	0.503	21.0	14.817	0.691	ea
71318120.0	116.38632917	-2.058553	0.322356	29.0	15.651	0.648	23.0	15.215	0.773	20.0	14.699	0.635	ew
71357499.0	116.79150875	-1.97844188	1.209374	30.0	15.536	0.425	26.0	15.292	0.393	21.0	15.004	0.388	ew

71372920.0	116.9568625	-2.10058825	0.51758	34.0	14.359	0.361	23.0	14.365	0.289	22.0	13.955	0.248	ew
71384517.0	117.08258333	-2.25292983	0.31755	28.0	16.46	0.449	19.0	16.158	0.378	22.0	15.793	0.396	ew
71415977.0	117.42363583	-2.31721442	1.014338	30.0	15.119	0.159	26.0	14.788	0.28	17.0	14.514	0.375	ea
71423027.0	117.49850417	-2.13825634	0.250088	29.0	16.666	0.549	30.0	16.334	0.464	17.0	15.932	0.742	ew
71449300.0	117.78925584	-2.32099809	0.40611	24.0	16.576	0.336	24.0	16.43	0.305	23.0	15.84	0.649	ew
71457194.0	117.87662792	-2.03331875	0.309466	35.0	14.762	0.303	35.0	14.435	0.279	22.0	14.296	0.222	ew
71536438.0	118.76318167	-2.3822515	0.284326	23.0	16.063	0.28	12.0	15.692	0.274	24.0	15.372	0.244	ew
71545993.0	118.87394111	-2.20031861	0.327252	27.0	16.915	0.838	31.0	16.536	0.727	18.0	16.163	2.221	eb
71566129.0	119.10293806	-1.99496372	0.37487	32.0	14.957	0.201	39.0	14.609	0.216	17.0	14.268	0.215	ew
71599767.0	119.51325708	-2.09960875	0.541541	35.0	17.125	0.613	25.0	16.574	0.569	12.0	15.952	0.308	ea
71610884.0	119.65104084	-2.23307882	0.271738	39.0	16.772	0.684	38.0	16.219	0.68	12.0	15.645	0.541	ew
80312834.0	124.292335	-0.6457065	0.690166	23.0	16.658	0.506	31.0	16.142	0.406	0.0	0.0	0.0	ew
80745967.0	132.84094333	-0.91008817	0.257186	25.0	17.257	0.523	32.0	16.312	0.486	0.0	0.0	0.0	eb
80815591.0	134.73832	-0.839044	0.250978	24.0	17.285	0.521	28.0	16.971	0.414	0.0	0.0	0.0	ew
80129138.0	121.64378	-1.319612	0.374384	21.0	16.523	0.606	32.0	16.177	0.592	0.0	0.0	0.0	ew
80194618.0	122.538	-1.310872	0.35212	23.0	17.266	0.826	33.0	16.815	0.753	0.0	0.0	0.0	ew
8033393.0	124.61529	-1.378756	0.10048	23.0	17.349	0.261	31.0	17.203	0.223	0.0	0.0	0.0	ew
80428018.0	126.21976	-1.51738	0.312214	23.0	15.699	0.59	32.0	15.343	0.485	0.0	0.0	0.0	ew
80492343.0	127.37531	-1.563472	2.024688	24.0	15.165	0.352	28.0	14.531	0.309	0.0	0.0	0.0	ew
80604817.0	129.61005	-1.42889	0.308152	25.0	16.836	0.276	28.0	16.471	0.276	0.0	0.0	0.0	ew
80727469.0	132.36469	-1.393556	0.244034	23.0	17.821	0.661	34.0	17.3	0.783	0.0	0.0	0.0	ew
80010865.0	120.13676416	-2.21262339	0.418573	47.0	16.005	0.429	39.0	16.026	0.25	21.0	15.622	0.446	ew
80010915.0	120.137455	-2.32922845	0.301557	41.0	16.52	0.791	41.0	16.111	0.733	20.0	15.675	0.505	ew
80055771.0	120.69601222	-2.26772031	0.424604	49.0	15.779	0.476	35.0	15.477	0.546	23.0	13.162	0.445	ew
80114061.0	121.44410764	-1.97945779	1.29415	48.0	14.497	0.608	48.0	14.321	0.644	23.0	14.095	0.452	ew
80213291.0	122.8637925	-2.26124859	0.378357	45.0	17.398	0.332	47.0	16.887	0.353	20.0	16.451	0.233	ew
80235224.0	123.11983709	-2.03494088	0.361266	50.0	17.294	0.877	50.0	16.813	0.78	26.0	16.358	0.769	ew
80281680.0	123.80985444	-2.11054756	0.386854	54.0	14.574	0.502	56.0	14.147	0.472	17.0	13.789	0.349	ew
80414589.0	125.98673333	-2.4514615	0.74089	14.0	14.432	0.314	14.0	14.228	0.316	15.0	14.094	0.34	ew
80494973.0	127.42482834	-1.99400175	0.480576	54.0	15.705	0.502	58.0	15.405	0.408	22.0	15.445	0.365	ew
80515127.0	127.81150444	-1.82711083	0.299404	23.0	17.382	0.329	38.0	17.152	0.305	3.0	16.909	0.229	ew
80565237.0	128.7841	-1.863854	1.065635	24.0	17.495	0.341	38.0	17.009	0.311	2.0	16.613	0.014	ew
80566476.0	128.80840889	-2.14960778	0.496674	47.0	17.633	0.684	57.0	17.067	0.634	16.0	16.471	0.16	eb
80592473.0	129.34744417	-2.15027475	0.31662	51.0	14.435	0.271	54.0	14.061	0.231	14.0	13.719	0.262	ew
80611793.0	129.76294667	-2.12657275	0.243099	56.0	16.752	0.277	54.0	16.298	0.302	13.0	15.904	0.361	ew
80632331.0	130.20631574	-2.11433116	0.251597	54.0	15.461	0.718	50.0	14.793	0.284	15.0	14.256	0.311	ew
80673891.0	131.07735	-2.17737759	0.262254	57.0	16.406	0.25	52.0	16.001	0.432	11.0	15.657	0.202	ew
80679069.0	131.20213333	-2.12729917	0.23912	50.0	16.632	0.827	56.0	16.133	0.739	10.0	15.714	0.423	ew
80756751.0	133.130095	-2.133937	0.27496	47.0	14.975	0.622	56.0	14.486	0.545	0.0	0.0	0.0	ew
80764204.0	133.3285725	-1.807417	0.405834	24.0	15.253	0.284	26.0	15.124	0.252	0.0	0.0	0.0	ew
80765662.0	133.38766	-1.7964085	0.342998	20.0	14.846	0.433	17.0	14.485	0.39	0.0	0.0	0.0	ew
40067341.0	64.54337333	-2.774242	0.310505	34.0	15.545	0.329	42.0	14.935	0.398	54.0	14.367	0.366	ea
40241503.0	70.580299	-2.7546455	1.110584	38.0	15.87	0.292	46.0	14.746	0.762	0.0	0.0	0.0	ew
40389330.0	72.8285405	-2.805633	0.268196	42.0	17.068	0.251	51.0	16.522	0.206	61.0	15.906	0.18	ew
40454051.0	73.635948	-2.98421	0.372674	20.0	15.685	0.438	30.0	15.367	0.427	58.0	15.05	0.431	ew
40047541.0	63.373707	-3.233954	0.263274	25.0	14.917	0.307	16.0	14.652	0.27	23.0	14.044	0.239	ew
40235593.0	70.469083	-3.30725967	3.006914	31.0	16.95	0.369	22.0	16.171	0.312	25.0	15.488	0.194	ew
40341518.0	72.17377967	-3.18242633	0.493172	21.0	16.565	0.312	21.0	16.474	0.295	26.0	16.461	0.317	ew
40500728.0	74.184827	-3.16927667	0.33335	38.0	17.612	0.464	20.0	17.17	0.39	22.0	16.993	0.437	ew
40264408.0	70.98892717	-4.10582517	0.2378	27.0	16.58	0.362	27.0	15.918	0.507	18.0	15.61	0.299	ew
40369450.0	72.56379733	-3.84970033	0.472584	31.0	16.168	0.449	22.0	15.818	0.407	14.0	15.484	0.415	ew
40497858.0	74.151787	-3.740614	0.994972	21.0	17.725	0.503	18.0	17.495	0.536	12.0	17.387	0.288	ew
40521875.0	74.431503	-3.858345	1.436956	31.0	14.695	0.389	21.0	14.431	0.396	14.0	14.161	0.371	ea

40547620.0	74.732216	-3.804767	0.305554	32.0	18.057	0.654	20.0	17.544	0.452	13.0	17.133	0.436	ew
40563699.0	74.921763	-3.789491	2.522825	30.0	15.807	0.428	22.0	15.496	0.26	15.0	15.069	0.116	ea
50319016.0	78.21701	-2.669115	0.903765	46.0	14.439	0.379	47.0	14.306	0.361	57.0	14.179	0.348	ea
50444482.0	79.3568725	-2.9019805	0.616332	48.0	13.927	0.502	32.0	13.47	0.379	0.0	0.0	0.0	ew
50493050.0	79.813183	-2.9020125	2.248062	52.0	15.732	0.277	48.0	14.624	0.228	0.0	0.0	0.0	ew
50552887.0	80.35769667	-2.768571	0.356636	44.0	14.688	0.395	52.0	14.174	0.375	66.0	13.69	0.388	ew
50574471.0	80.55502567	-2.719864	0.984894	52.0	16.039	0.485	51.0	15.632	0.417	61.0	15.273	0.552	ew
50742052.0	81.941479	-2.7636655	0.732835	54.0	16.29	0.442	49.0	15.253	0.322	0.0	0.0	0.0	ew
50758840.0	82.074799	-2.53392633	0.286996	24.0	17.01	0.395	44.0	16.384	0.487	50.0	15.745	0.419	ew
50759022.0	82.076111	-2.813608	5.207715	54.0	14.971	0.337	49.0	14.569	0.322	67.0	14.181	0.309	ea
50822867.0	82.60469567	-2.50923467	0.60706	24.0	15.529	0.208	30.0	15.027	0.286	49.0	14.515	0.218	ew
50846625.0	82.8032495	-2.615087	0.616314	54.0	17.366	0.589	47.0	17.036	0.435	0.0	0.0	0.0	ew
50854807.0	82.873199	-2.940322	4.377738	48.0	14.994	0.289	34.0	14.174	0.306	0.0	0.0	0.0	ea
50953170.0	83.7186435	-2.8897885	1.19298	58.0	16.392	0.444	44.0	15.342	0.218	0.0	0.0	0.0	ew
50988099.0	84.007851	-2.854954	1.663513	56.0	15.492	0.395	55.0	14.479	0.359	0.0	0.0	0.0	ew
51023667.0	84.30801	-2.73102925	0.338452	54.0	15.575	0.76	52.0	14.865	0.688	0.0	0.0	0.0	ew
51239813.0	86.15858733	-2.84553633	0.323244	60.0	16.536	0.294	56.0	15.647	0.254	78.0	14.98	0.465	ew
51390034.0	87.43574925	-2.94750975	10.86357	0.0	0.0	0.0	54.0	18.405	0.245	72.0	17.577	0.526	ea
51433825.0	87.770836	-2.77029567	1.062205	50.0	17.131	0.23	54.0	16.368	0.336	79.0	15.656	0.23	ew
51483475.0	88.1627085	-2.800279	0.478032	53.0	17.652	0.645	55.0	17.049	0.584	85.0	15.972	0.657	ew
51499114.0	88.288699	-2.735209	0.788348	56.0	17.881	0.435	52.0	17.37	0.491	72.0	17.161	0.667	ew
51506182.0	88.3452425	-2.95350717	0.256624	42.0	17.623	0.492	54.0	16.628	0.607	67.0	15.594	0.541	ew
51510025.0	88.37528233	-2.60965667	0.567512	52.0	15.267	0.584	50.0	14.628	0.492	73.0	13.937	0.502	eb
51671374.0	89.5749325	-2.763361	0.450319	58.0	16.688	0.876	56.0	15.966	0.879	0.0	0.0	0.0	eb
50161894.0	76.70134	-3.460325	0.90373	82.0	17.427	0.609	54.0	16.793	0.463	0.0	0.0	0.0	ew
50374754.0	78.7227665	-3.548009	0.268421	23.0	17.489	0.447	17.0	17.067	0.38	29.0	16.714	0.313	ew
50391066.0	78.86808533	-3.4166867	0.299794	31.0	15.242	0.585	22.0	14.75	0.46	29.0	14.324	0.431	ew
50433609.0	79.25442533	-3.25731067	0.313152	29.0	17.713	0.598	21.0	17.15	0.704	26.0	16.634	0.617	ew
50438838.0	79.30397	-3.586712	0.352854	31.0	16.516	0.516	21.0	16.077	0.389	28.0	15.605	0.388	ew
50541136.0	80.2541355	-3.2934335	7.098015	32.0	14.468	0.957	22.0	13.928	0.869	27.0	13.403	0.782	ea
50564011.0	80.461375	-3.446607	0.538886	26.0	16.225	0.503	23.0	15.738	0.471	30.0	15.264	0.421	ew
50694000.0	81.556946	-3.4794275	0.305808	32.0	14.781	0.211	24.0	14.289	0.277	28.0	13.938	0.111	ew
50735395.0	81.889366	-3.623335483	0.34603	32.0	16.871	0.743	25.0	16.291	0.779	24.0	15.835	0.627	ew
50755709.0	82.04910133	-3.22976917	2.240936	33.0	16.859	0.292	20.0	15.796	0.231	28.0	14.379	0.179	eb
50917935.0	83.421261	-3.2244885	0.474314	33.0	16.749	0.348	24.0	16.24	0.304	34.0	15.657	0.312	ew
51000045.0	84.108845	-3.2318455	1.66799	30.0	14.698	0.428	21.0	14.036	0.327	0.0	0.0	0.0	ew
51102994.0	84.97211467	-3.4780607	0.501248	34.0	17.863	0.709	17.0	16.885	0.774	37.0	16.709	0.597	ew
51156545.0	85.4430005	-3.125133	0.236382	20.0	18.036	0.795	17.0	16.885	0.774	27.0	15.86	0.776	eb
51211698.0	85.9183845	-3.4108345	11.179158	35.0	16.096	0.825	24.0	15.193	0.719	33.0	14.352	0.706	ew
51293974.0	86.6310885	-3.291465	7.453762	35.0	15.735	0.562	20.0	14.645	0.521	21.0	13.277	0.226	ew
51357785.0	87.1829105	-3.5546065	0.477011	25.0	17.521	0.823	18.0	16.726	0.667	33.0	16.03	0.718	ea
51406238.0	87.557617	-3.30688	0.296118	35.0	16.999	0.29	24.0	16.473	0.31	35.0	15.778	0.268	ew
51439080.0	87.811048	-3.586209	0.446148	34.0	16.956	0.597	21.0	16.444	0.643	31.0	15.983	0.538	eb
51450376.0	87.89849833	-3.374164	0.33454	32.0	18.128	0.739	23.0	17.439	0.401	33.0	16.726	0.44	ew
51467049.0	88.0293275	-3.489875	1.065844	31.0	16.209	0.753	25.0	15.554	0.708	37.0	14.911	0.838	ew
51530564.0	88.5402985	-3.289335	0.320678	37.0	18.11	0.391	20.0	17.18	0.392	23.0	16.677	0.327	ew
51564755.0	88.81186325	-3.3802715	0.410686	0.0	0.0	0.0	21.0	18.316	0.536	35.0	17.445	0.667	ew
51619018.0	89.22137967	-3.376396	0.469928	33.0	18.468	0.586	23.0	17.765	0.534	36.0	17.037	0.602	ew
51631101.0	89.3073655	-3.232346	0.3117	33.0	17.561	0.707	24.0	16.972	0.379	36.0	15.873	0.356	ew
51694867.0	89.72610467	-3.41156833	1.551616	36.0	18.265	0.555	23.0	17.843	0.667	34.0	17.451	0.551	ew
51721519.0	89.89711767	-3.41956667	0.27403	32.0	18.276	0.744	22.0	17.509	0.85	32.0	16.892	0.776	ew
51728781.0	89.9442915	-3.2426405	0.362863	36.0	16.159	0.522	24.0	15.847	0.503	37.0	14.738	0.494	ew

50424100.0	79.17189251	-3.94279118	0.623148	46.0	16.029	0.378	26.0	15.928	0.248	24.0	15.32	0.28	ew
50571898.0	80.53768125	-4.16419212	10.786122	36.0	16.145	0.212	25.0	15.536	0.201	26.0	14.96	0.138	ew
50576660.0	80.57999592	-4.161874	1.81425	37.0	16.072	0.314	29.0	15.093	0.541	25.0	13.91	0.253	ew
50607615.0	80.84958654	-4.14612767	0.348568	41.0	18.322	0.65	27.0	17.897	0.464	24.0	17.441	0.471	ew
50765586.0	82.13372645	-4.11879283	4.648128	51.0	15.662	0.341	30.0	14.514	0.365	28.0	13.546	0.373	ew
50848444.0	82.82509786	-4.11214055	4.215107	54.0	16.793	0.265	31.0	15.665	0.238	29.0	14.291	0.117	ew
50887780.0	83.16383192	-3.89507284	12.292034	42.0	14.931	0.27	20.0	14.062	0.315	0.0	0.0	0.0	ew
50969201.0	83.85723189	-4.09224276	10.696515	52.0	15.46	0.314	29.0	14.349	0.331	0.0	0.0	0.0	ew
51022720.0	84.30704221	-4.01682879	2.28257	58.0	15.607	0.467	31.0	14.682	0.413	28.0	13.576	0.232	ew
51083382.0	84.8139685	-3.89895863	3.336397	42.0	17.462	0.439	22.0	16.339	0.485	0.0	0.0	0.0	ew
51085303.0	84.82985616	-4.0153015	0.304641	57.0	15.841	0.808	28.0	14.975	0.684	29.0	14.174	0.627	ew
51112128.0	85.05766966	-4.00342858	0.590453	59.0	16.056	0.58	25.0	15.14	0.462	28.0	14.175	0.449	ea
51178734.0	85.64699333	-3.78104733	0.392846	34.0	18.05	0.839	22.0	17.322	0.554	16.0	16.547	0.479	ew
51184530.0	85.69603059	-4.01677182	0.724761	60.0	17.972	0.418	29.0	17.293	0.27	25.0	16.719	0.265	ew
51325825.0	86.92235532	-4.02661836	0.477011	57.0	17.625	0.462	20.0	16.972	0.398	17.0	16.31	0.39	ew
51345608.0	87.092216	-3.856873	0.280259	34.0	17.5	0.617	22.0	16.859	0.464	18.0	16.23	0.368	ew
51355304.0	87.17069792	-3.99077071	9.19473	59.0	16.812	0.712	30.0	16.107	0.527	30.0	15.44	0.639	ea
51512884.0	88.40459323	-4.17285473	0.266801	37.0	17.23	0.331	25.0	16.631	0.234	24.0	15.93	0.209	ew
51512884.0	88.40626463	-4.01481163	2.050323	59.0	17.535	0.544	28.0	16.957	0.424	24.0	16.391	0.423	ea
51529378.0	88.5389305	-3.755603	0.354361	27.0	17.526	0.626	18.0	16.682	0.367	13.0	15.885	0.438	ea
51546167.0	88.67552119	-4.22687344	0.317421	40.0	16.491	0.414	24.0	15.868	0.377	24.0	15.308	0.361	ew
51576398.0	88.90821875	-4.08188202	0.648612	59.0	16.653	0.459	29.0	15.963	0.321	28.0	15.265	0.393	eb
51609449.0	89.15896598	-4.05820381	0.385991	61.0	15.893	0.549	28.0	15.134	0.477	32.0	14.404	0.445	ew
51653590.0	89.46656766	-4.08283427	0.297751	59.0	16.219	0.551	28.0	15.587	0.497	29.0	14.992	0.589	ew
51655119.0	89.47680567	-3.78899967	0.261004	33.0	15.41	0.504	40.0	15.258	0.442	0.0	0.0	0.0	ew
60017637.0	90.156042	-2.6325325	0.904243	57.0	18.032	1.087	21.0	17.219	0.666	16.0	16.356	0.526	ew
60072822.0	90.5822145	-2.7790315	0.842993	36.0	17.912	0.398	48.0	17.071	0.398	76.0	16.765	0.369	ew
60119819.0	90.93269525	-2.727417	0.30271	40.0	16.958	0.272	47.0	16.24	0.26	0.0	0.0	0.0	ew
60224749.0	91.67418167	-2.92810867	0.274627	55.0	16.129	0.323	41.0	15.535	0.309	68.0	14.91	0.29	ew
60295349.0	92.187288	-2.96435	0.747536	48.0	16.317	0.432	40.0	16.072	0.472	0.0	0.0	0.0	eb
60297615.0	92.2042735	-2.8389285	3.2003	43.0	18.012	0.467	49.0	17.54	0.54	76.0	16.976	0.554	ea
60329340.0	92.439045	-2.739555	0.854958	48.0	17.691	0.409	47.0	17.293	0.359	0.0	0.0	0.0	ew
60380892.0	92.8107375	-2.7479795	3.585584	49.0	17.333	0.373	48.0	16.943	0.31	76.0	16.463	0.337	ea
60435934.0	93.19732383	-2.86990933	0.430398	55.0	16.963	0.255	46.0	16.563	0.214	62.0	15.923	0.193	ew
60459931.0	93.36606333	-2.61810433	14.586698	56.0	15.111	0.371	54.0	14.889	0.379	64.0	14.594	0.427	ew
60480101.0	93.50672017	-2.70112121	0.367191	61.0	16.016	0.35	41.0	15.43	0.28	73.0	14.98	0.282	ew
60491174.0	93.5943485	-2.94279625	0.184407	0.0	0.0	0.0	42.0	18.27	0.364	71.0	17.393	0.431	ew
60513217.0	93.764175	-2.92455975	0.32716	0.0	0.0	0.0	46.0	18.175	0.777	60.0	17.619	0.555	ew
60513409.0	93.765671	-2.90703033	0.708876	51.0	17.108	0.548	48.0	16.755	0.447	62.0	16.364	0.465	eb
60554813.0	94.08385675	-2.73845925	1.017081	61.0	14.922	0.349	46.0	14.682	0.343	0.0	0.0	0.0	eb
60560682.0	94.12687083	-2.72677583	0.312221	51.0	17.871	0.442	43.0	17.109	0.367	72.0	16.504	0.413	ew
60569420.0	94.191124	-2.69686625	0.268316	63.0	15.507	0.314	36.0	14.705	0.273	0.0	0.0	0.0	ew
60591098.0	94.3479435	-2.63408867	0.26852	59.0	16.27	0.699	46.0	15.829	0.569	79.0	15.327	0.543	ew
60664317.0	94.87540967	-2.695491	0.232286	28.0	18.263	0.431	36.0	18.263	0.349	53.0	17.088	0.326	ew
60719304.0	95.304596	-2.914865	0.283254	51.0	16.611	0.683	40.0	16.126	0.531	46.0	15.592	0.599	ew
60775693.0	95.741747	-2.99045325	0.275687	0.0	0.0	0.0	50.0	17.203	0.389	61.0	16.591	0.299	ew
60802230.0	95.94699125	-3.0570785	0.276642	0.0	0.0	0.0	38.0	18.034	0.876	42.0	17.359	0.878	eb
60804160.0	95.96249975	-2.87188025	0.522237	67.0	14.579	0.421	48.0	14.155	0.335	0.0	0.0	0.0	ew
60821816.0	96.09748675	-2.78579125	0.378725	46.0	17.783	0.462	46.0	17.287	0.34	0.0	0.0	0.0	ew
60837186.0	96.21189867	-2.76128633	0.391272	38.0	17.707	0.569	48.0	17.356	0.607	60.0	17.337	0.575	ew
60841609.0	96.24529	-2.75259	7.414422	49.0	17.12	0.666	53.0	16.519	0.57	67.0	15.82	0.4	ea

60903920.0	96.720818	4.430292	44.0	17.705	0.446	42.0	16.944	0.65	65.0	16.047	0.668	ea
60933741.0	96.9548645	0.510792	20.0	18.851	0.382	50.0	18.309	0.511	48.0	17.728	0.517	eb
60966992.0	97.20827617	0.302834	48.0	17.514	0.359	49.0	17.279	0.402	72.0	16.895	0.451	ew
61048121.0	97.81503767	0.340826	64.0	17.189	0.378	36.0	16.595	0.349	74.0	15.961	0.321	ea
61053723.0	97.85555425	0.955159	0.0	0.0	0.0	36.0	17.889	0.38	56.0	17.015	0.435	ew
61083328.0	98.070698	0.260026	50.0	17.407	0.336	45.0	16.699	0.266	55.0	16.083	0.264	ew
61092308.0	98.1372185	0.296862	61.0	16.206	0.283	46.0	15.583	0.249	74.0	14.931	0.26	ew
61108996.0	98.27008833	0.451469	30.0	18.461	0.391	42.0	17.598	0.294	64.0	16.793	0.33	ew
61112913.0	98.30081433	0.447146	56.0	16.09	0.341	44.0	15.494	0.297	77.0	14.836	0.237	ew
61167067.0	98.7398495	0.358552	28.0	18.147	0.351	40.0	17.592	0.358	56.0	16.844	0.458	ew
61189183.0	98.917225	0.433912	55.0	15.818	0.325	32.0	15.17	0.281	0.0	0.0	0.0	ew
61227177.0	99.22470633	5.212127	48.0	17.6	0.285	51.0	16.953	0.332	60.0	16.151	0.38	ea
61307463.0	99.82114175	0.264616	64.0	16.005	0.471	45.0	15.394	0.403	0.0	0.0	0.0	ew
61335952.0	100.03208	1.950537	55.0	17.052	0.554	48.0	16.392	0.419	0.0	0.0	0.0	ea
61335952.0	100.03282833	0.257759	58.0	16.544	0.481	41.0	16.294	0.4	68.0	15.35	0.43	ew
61375658.0	100.33503	0.26442235	58.0	15.185	0.345	39.0	14.249	0.327	0.0	0.0	0.0	ea
61468783.0	101.0334	0.459376	30.0	15.805	0.465	47.0	15.342	0.445	58.0	14.846	0.448	ew
61475060.0	101.09081	0.350448	60.0	15.067	0.612	42.0	14.617	0.547	0.0	0.0	0.0	ew
61478638.0	101.12457333	0.853976	61.0	16.33	0.319	52.0	15.718	0.277	66.0	14.94	0.292	ea
61480393.0	101.14111	0.30478	60.0	16.436	1.083	48.0	15.78	0.882	0.0	0.0	0.0	ea
61486876.0	101.20849167	0.26245	52.0	15.873	0.787	38.0	15.085	0.541	68.0	14.272	0.537	ew
61511310.0	101.44177	0.320541	56.0	16.088	0.323	51.0	15.543	0.314	70.0	14.968	0.376	ew
61515576.0	101.48371	6.47969	52.0	17.43	0.3	48.0	16.709	0.241	63.0	15.827	0.239	ew
61530130.0	101.624345	0.814892	49.0	17.508	0.601	51.0	16.775	0.683	0.0	0.0	0.0	eb
61539748.0	101.718635	4.653582	58.0	16.664	0.858	0.0	0.0	0.0	66.0	15.57	0.721	ea
61540609.0	101.72796167	1.016197	50.0	17.384	0.385	43.0	16.714	0.313	64.0	15.85	0.289	ea
61550342.0	101.827915	0.328223	50.0	17.634	0.432	48.0	17.028	0.607	68.0	16.306	0.585	ew
61560000.0	101.86008	0.322553	68.0	15.91	0.408	45.0	15.434	0.33	55.0	14.902	0.369	ew
61566644.0	102.006535	0.267726	63.0	16.847	0.385	0.0	0.0	0.0	66.0	15.311	0.384	ew
61641601.0	102.816945	2.487139	56.0	17.518	0.772	38.0	16.955	0.395	60.0	16.113	0.438	ea
61651384.0	102.920645	0.141215	51.0	17.624	0.808	38.0	16.789	0.485	52.0	16.509	0.451	ew
61660487.0	102.920645	0.289552	45.0	17.619	0.772	36.0	16.873	0.813	0.0	0.0	0.0	ew
6167372.0	103.01518667	0.614979	52.0	17.869	0.252	43.0	17.467	0.281	68.0	16.894	0.33	ew
61683143.0	103.12706667	0.728394	34.0	18.024	0.578	32.0	17.59	0.365	48.0	16.988	0.446	ew
61692729.0	103.25043	1.174375	56.0	16.501	0.561	38.0	15.933	0.522	0.0	0.0	0.0	ea
61712578.0	103.55284	1.024512	54.0	16.752	0.462	38.0	16.177	0.437	64.0	15.501	0.492	ew
61712985.0	103.566945	3.649946	58.0	15.249	0.437	46.0	14.939	0.354	62.0	14.569	0.419	ea
61715472.0	103.581635	0.067249	52.0	15.294	0.231	40.0	14.924	0.195	61.0	14.562	0.208	ew
61716523.0	103.59308	0.300495	32.0	15.432	0.641	42.0	14.916	0.73	37.0	14.383	0.64	eb
61776745.0	104.22648667	0.092724	40.0	18.065	0.415	42.0	17.478	0.418	42.0	16.738	0.403	ew
61826939.0	104.76154	0.381784	57.0	17.529	0.255	41.0	16.733	0.209	64.0	15.616	0.185	ew
60011880.0	90.10755933	3.004181	65.0	16.314	0.505	50.0	15.858	0.383	64.0	15.205	0.402	ea
60014726.0	90.135193	0.540486	34.0	16.68	0.306	26.0	16.242	0.277	27.0	15.627	0.258	ew
60046150.0	90.378189	0.43239	33.0	17.078	0.559	0.0	0.0	0.0	31.0	16.149	0.366	ew
60086657.0	90.701665	0.43239	37.0	16.985	0.693	25.0	16.486	0.875	37.0	15.794	0.585	ew
60114297.0	90.8923875	9.106908	19.0	18.6	0.478	18.0	17.628	0.306	33.0	16.618	0.291	ew
60158615.0	91.212319	0.458417	23.0	17.207	0.35	23.0	16.821	0.263	34.0	16.219	0.262	ew
60173598.0	91.32207	0.385186	20.0	16.857	0.545	15.0	16.339	0.424	24.0	15.747	0.598	ew
60202242.0	91.52008683	0.978529	28.0	17.472	0.776	20.0	15.961	0.596	32.0	16.499	0.738	ea
60247571.0	91.837563	0.33341	30.0	16.347	0.754	23.0	15.934	0.674	30.0	15.382	0.613	ew
60397311.0	92.92570533	0.388248	24.0	17.837	0.67	18.0	17.302	0.5	29.0	17.025	0.582	ew
60401014.0	92.9517615	0.988394	21.0	17.301	0.363	19.0	16.968	0.304	26.0	16.479	0.352	ew
		0.317417	23.0	17.195	0.391	22.0	16.635	0.404	0.0	0.0	0.0	ew

60402034.0	92.85938067	-3.60130267	2.309958	23.0	17.956	0.529	20.0	17.623	0.82	35.0	17.083	0.644	ea
60466996.0	93.41426333	-3.35591667	0.120076	32.0	18.101	0.376	20.0	17.704	0.181	33.0	17.161	0.254	ew
60484906.0	93.5439059	-3.5778835	0.281338	0.0	0.0	0.0	18.0	18.076	0.588	30.0	17.276	0.628	ew
60540857.0	93.978002	-3.303072	0.343024	31.0	16.934	0.371	21.0	16.6	0.344	29.0	16.121	0.323	ew
60550505.0	94.05151867	-3.292711	0.342716	22.0	18.537	0.666	22.0	18.103	0.608	31.0	17.898	0.615	ew
60522882.0	94.069679	-3.526234	0.560766	21.0	16.268	0.22	19.0	15.877	0.26	32.0	15.393	0.229	ew
60592856.0	94.35890933	-3.345549	0.507499	28.0	17.909	0.572	22.0	17.898	0.280	28.0	16.964	0.56	ew
60642104.0	94.702278	-3.4049655	0.622038	27.0	15.713	0.302	22.0	15.464	0.305	0.0	0.0	0.0	ew
60681685.0	95.008816	-3.172715	0.432092	22.0	16.538	0.343	16.0	16.181	0.323	25.0	15.832	0.282	ew
60735103.0	95.427719	-3.409313	0.344622	30.0	16.035	0.256	23.0	15.708	0.241	31.0	15.257	0.232	ew
60741714.0	95.477966	-3.58615967	0.241932	20.0	18.086	0.823	18.0	17.312	0.752	30.0	16.46	0.678	ew
60761893.0	95.63543567	-3.4040065	0.43039	22.0	14.836	0.622	15.0	14.505	0.648	28.0	14.076	0.58	ew
60776011.0	95.7822495	-3.4482385	0.280737	23.0	18.062	0.523	22.0	17.662	0.37	24.0	17.112	0.413	ew
60097703.0	90.76988111	-3.90649733	0.378	30.0	15.74	0.345	17.0	15.154	0.35	18.0	14.418	0.433	ew
60212701.0	91.59101171	-3.98832112	9.452372	47.0	15.193	0.213	0.0	0.0	0.0	16.0	13.5	0.206	ew
60248515.0	91.84448225	-4.1746505	0.448148	23.0	18.283	0.473	0.0	0.0	0.0	23.0	16.964	0.532	ew
60262701.0	91.9505805	-3.99610783	0.437439	37.0	17.104	0.593	16.0	16.507	0.504	21.0	15.884	0.493	ew
60278487.0	92.06445317	-4.13273467	0.221202	35.0	18.714	0.571	19.0	17.691	0.428	23.0	16.979	0.614	ew
60420907.0	93.09102622	-3.94174978	0.376439	44.0	17.075	0.35	19.0	16.556	0.271	21.0	15.936	0.313	ew
60611514.0	94.49008742	-4.01751525	0.357381	44.0	17.228	0.444	21.0	16.582	0.335	17.0	16.038	0.323	ew
60631894.0	94.62795246	-3.87791375	0.707508	27.0	16.048	0.273	16.0	15.656	0.239	17.0	15.181	0.246	ew
60651901.0	94.77878347	-4.00525667	0.405785	38.0	17.802	0.5	20.0	17.286	0.424	19.0	16.741	0.344	ew
60654122.0	94.79671339	-4.05662414	0.2546	37.0	17.683	0.278	23.0	16.916	0.204	19.0	16.261	0.287	ew
60665770.0	94.88661308	-3.88120021	0.44881	29.0	15.738	0.406	16.0	15.325	0.411	18.0	14.816	0.362	ew
60672124.0	94.93601817	-4.02168008	0.357216	39.0	15.444	0.349	18.0	15.087	0.351	15.0	14.642	0.215	ew
60700766.0	95.15882383	-4.084167	0.329204	40.0	17.955	0.374	23.0	17.483	0.315	23.0	16.988	0.357	ew
60717970.0	95.294022	-3.78896817	0.105296	28.0	16.734	0.49	17.0	16.387	0.551	13.0	16.141	0.474	ea
60965944.0	97.20333575	-4.0784275	0.466215	44.0	17.177	0.422	0.0	0.0	0.0	13.0	16.53	0.302	ea
61013543.0	97.56263237	-4.1413095	0.36779	45.0	17.292	0.488	21.0	16.797	0.379	19.0	16.254	0.386	eb
61025492.0	97.65022825	-4.1911655	0.375332	28.0	16.338	0.244	16.0	15.979	0.239	0.0	0.0	0.0	ew
61042899.0	97.7770155	-4.26214616	0.254582	31.0	17.81	0.471	20.0	17.264	0.524	10.0	16.657	0.552	ew
61055651.0	97.8695105	-3.90149	5.936736	35.0	17.458	0.454	19.0	16.141	0.275	8.0	14.82	0.103	ew
61109630.0	98.27502025	-3.781505	0.322706	15.0	18.472	0.836	0.0	0.0	0.0	14.0	17.118	0.619	ew
61141620.0	98.53454025	-4.17776813	0.513822	27.0	16.622	0.603	21.0	16.145	0.611	21.0	15.586	0.556	ea
61164869.0	98.72195708	-3.88458242	1.764927	32.0	17.464	1.046	14.0	16.864	0.941	16.0	16.193	0.474	ea
61220882.0	99.17378061	-4.08338789	0.296372	40.0	16.329	0.506	19.0	15.664	0.214	20.0	15.061	0.214	ew
61256426.0	99.29773508	-4.20140233	0.32269	27.0	18.146	0.42	18.0	17.212	0.322	14.0	16.428	0.328	ew
61306352.0	99.81320717	-4.21488133	0.054659	24.0	15.901	0.238	0.0	0.0	0.0	22.0	14.107	0.514	ea
61345014.0	100.10003445	-4.21579239	0.049988	22.0	15.688	0.365	18.0	15.146	0.105	23.0	14.574	0.682	ea
61360005.0	100.36822667	-3.86720166	0.398238	32.0	17.015	0.85	15.0	16.45	0.781	16.0	15.8	0.779	ew
61460683.0	100.9719725	-4.01759625	0.312613	42.0	17.0	0.586	23.0	16.436	0.536	17.0	15.74	0.426	ew
61509099.0	101.420275	-4.205409	3.542937	27.0	16.815	0.755	19.0	16.335	0.61	0.0	0.0	0.0	ea
61513519.0	101.4638475	-3.91615391	0.41299	40.0	15.608	0.31	24.0	14.993	0.301	24.0	14.524	0.235	ew
61539618.0	101.71733416	-4.21073925	0.043689	26.0	15.082	0.367	0.0	0.0	0.0	17.0	14.119	0.442	ea
61638109.0	102.77946722	-3.98590989	0.240053	43.0	16.431	0.426	22.0	15.99	0.386	16.0	13.368	0.432	ew
61643917.0	102.842045	-3.901103	0.393416	39.0	14.028	0.735	0.0	0.0	0.0	13.0	13.358	0.522	ew
61668053.0	103.092995	-4.01973938	0.641346	48.0	15.386	0.333	19.0	15.086	0.368	17.0	14.426	0.268	ew
61711244.0	103.53956	-4.0011805	1.959324	43.0	15.43	0.335	0.0	0.0	0.0	14.0	13.473	0.269	ew
61714460.0	103.57148	-3.770809	0.360966	27.0	17.181	0.278	10.0	16.603	0.206	0.0	0.0	0.0	ew
61756597.0	103.80242166	-3.98671475	0.408136	29.0	16.216	0.406	21.0	15.714	0.553	16.0	15.006	0.346	ew
61791046.0	104.3828	-4.10278425	0.314208	39.0	17.663	0.276	21.0	17.096	0.276	0.0	0.0	0.0	ew
61816191.0	104.64697778	-3.96167783	0.591979	45.0	16.901	0.458	20.0	16.238	0.472	15.0	15.466	0.491	eb

61824736.0	104.7372725	-4.08305375	2.316413	42.0	17.521	0.64	14.0	16.909	0.094	16.0	16.104	0.333	eb
70002761.0	105.02884	-2.636583	2.831888	46.0	16.511	0.443	53.0	16.032	0.35	58.0	15.399	0.295	ea
70048665.0	105.48252333	-2.60648317	1.453488	46.0	15.661	0.474	36.0	15.219	0.43	52.0	14.626	0.422	ea
70051967.0	105.516715	-2.9633375	0.523193	0.0	0.0	0.0	45.0	14.755	0.437	37.0	14.411	0.473	ew
70101485.0	105.977375	-2.6644705	0.802117	56.0	16.945	0.539	41.0	16.502	0.435	0.0	0.0	0.0	eb
70130833.0	106.24165	-2.957501	0.428568	39.0	16.818	0.463	23.0	16.409	0.384	20.0	15.93	0.45	ew
70178179.0	106.6721	-2.944437	0.370642	53.0	16.023	0.578	47.0	15.557	0.43	55.0	15.036	0.482	ew
70231591.0	107.14586667	-2.842223	0.245496	40.0	17.991	0.443	49.0	17.487	0.439	64.0	16.867	0.413	ew
70290149.0	107.67402667	-2.79590133	0.245404	40.0	17.257	0.665	40.0	16.328	0.458	45.0	15.65	0.375	ew
70297750.0	107.74337	-2.83882267	0.344339	50.0	16.938	0.618	41.0	16.503	0.341	49.0	16.021	0.412	ew
70333532.0	108.06803333	-2.86027233	0.373004	42.0	17.31	0.631	41.0	17.019	0.507	51.0	16.623	0.59	ew
70333768.0	108.07028	-2.59355267	0.280846	22.0	18.226	0.477	36.0	17.773	0.372	41.0	17.499	0.389	ew
70334393.0	108.076	-2.8048675	0.429064	64.0	15.411	0.377	53.0	15.187	0.245	66.0	14.927	0.29	ew
70371343.0	108.406805	-2.7290115	0.42004	56.0	16.664	0.495	41.0	16.042	0.596	57.0	15.421	0.651	ew
70377017.0	108.45410667	-2.877376	0.454834	56.0	16.049	0.25	40.0	15.911	0.224	65.0	15.364	0.24	ew
70425900.0	108.86536	-2.755727	0.991587	36.0	17.474	0.517	47.0	17.042	0.404	0.0	0.0	0.0	ea
70428264.0	108.88658	-3.015315	0.352588	0.0	0.0	0.0	34.0	17.087	0.259	55.0	16.701	0.297	ew
70448091.0	109.06220333	-2.82826567	0.273822	40.0	17.812	0.58	43.0	17.461	0.424	64.0	17.07	0.495	ew
70461527.0	109.18156333	-2.753426	0.259506	46.0	17.362	0.507	45.0	16.956	0.545	64.0	16.421	0.403	ew
70563368.0	110.053015	-2.7080545	0.349276	58.0	15.715	0.43	45.0	15.329	0.434	61.0	14.894	0.454	ew
70572340.0	110.126355	-2.74899475	0.383588	56.0	14.77	0.433	32.0	14.329	0.354	0.0	0.0	0.0	ew
70603168.0	110.368035	-2.64372183	0.381247	36.0	16.894	0.294	37.0	16.369	0.269	52.0	16.204	0.268	ew
70620484.0	110.49924	-2.6259595	0.454126	51.0	15.955	0.554	38.0	15.641	0.563	0.0	0.0	0.0	eb
70633021.0	110.59918	-2.666319	0.527632	48.0	14.726	0.514	33.0	14.555	0.487	49.0	14.334	0.435	eb
70713373.0	111.23404	-2.58172933	0.275871	0.0	0.0	0.0	30.0	13.982	0.231	52.0	13.73	0.469	ea
70718602.0	111.27429	-2.57498175	1.519439	37.0	15.121	0.237	36.0	14.69	0.457	0.0	0.0	0.0	ea
70730862.0	111.37057333	-2.849822	0.295254	50.0	17.19	0.655	46.0	16.773	0.491	71.0	16.154	0.488	ew
70740960.0	111.45668667	-2.95619467	0.260303	49.0	16.42	0.566	37.0	16.057	0.378	59.0	15.748	0.581	ew
70754332.0	111.5709725	-2.6975325	0.952764	0.0	0.0	0.0	47.0	17.219	0.489	59.0	16.829	0.48	ew
70755245.0	111.839575	-2.935657	0.978116	0.0	0.0	0.0	49.0	16.096	0.437	67.0	15.768	0.448	ew
70868871.0	112.565115	-2.804204	4.577381	65.0	15.9	0.464	48.0	15.799	0.374	0.0	0.0	0.0	ea
70875026.0	112.61556667	-2.59043133	1.930893	46.0	16.991	0.546	41.0	16.376	0.494	50.0	15.715	0.497	ea
70927748.0	113.04546	-2.83478733	0.492122	65.0	15.05	0.493	41.0	14.871	0.423	72.0	14.657	0.699	ew
70946906.0	113.196225	-2.8201275	0.308664	0.0	0.0	0.0	37.0	18.597	0.429	53.0	17.687	0.444	eb
70973944.0	113.41035833	-2.79864883	12.905846	52.0	15.189	0.484	45.0	15.065	0.3	77.0	14.859	0.4	ea
70980474.0	113.461235	-2.8739595	0.43257	58.0	15.372	0.212	56.0	15.063	0.206	0.0	0.0	0.0	ew
71011490.0	113.71909	-2.559832	1.044061	28.0	16.788	0.491	32.0	16.372	0.577	40.0	15.908	0.595	ea
71023753.0	113.820655	-2.923366	0.248932	0.0	0.0	0.0	37.0	18.01	0.343	57.0	17.415	0.344	ew
71033006.0	113.899825	-2.670385	0.357075	66.0	16.015	0.347	39.0	15.729	0.271	0.0	0.0	0.0	ew
71078875.0	114.29661	-3.008647	0.256852	0.0	0.0	0.0	43.0	15.72	0.719	55.0	15.238	0.639	ew
71081142.0	114.31748	-2.91198183	0.781542	51.0	17.263	0.545	52.0	16.915	0.517	74.0	16.505	0.487	ea
71093951.0	114.42839333	-2.89975117	0.349592	60.0	17.183	0.76	47.0	16.845	0.55	57.0	16.395	0.577	ew
71100448.0	114.48716	-2.831637	0.262887	68.0	16.833	0.376	50.0	16.434	0.301	73.0	16.106	0.243	ew
71128041.0	114.73294	-3.031906	0.458562	0.0	0.0	0.0	34.0	16.678	0.494	37.0	16.222	0.522	ew
71136851.0	114.82986	-2.74982733	0.227103	39.0	17.87	0.277	40.0	17.265	0.291	51.0	16.865	0.329	ew
71156141.0	114.99696	-3.0586055	2.657101	30.0	17.003	0.481	45.0	16.587	0.278	51.0	16.01	0.339	ea
71185719.0	115.230435	-2.5983895	0.954408	49.0	15.963	0.408	41.0	15.698	0.391	0.0	0.0	0.0	eb
71204113.0	115.3772333	-2.71019633	3.516107	48.0	18.097	0.975	38.0	17.936	0.612	64.0	17.524	0.595	ea
71262309.0	115.852735	-2.91395675	0.35268	0.0	0.0	0.0	40.0	17.809	0.805	67.0	17.286	0.784	eb
71309187.0	116.29287667	-2.62338067	0.388934	48.0	17.407	0.751	39.0	16.991	0.676	60.0	16.613	0.715	ew
71313850.0	116.3418675	-2.7441825	0.327672	0.0	0.0	0.0	31.0	18.343	0.478	46.0	17.663	0.544	ew
71339978.0	116.61518	-2.8459025	0.237604	46.0	17.69	0.36	43.0	17.273	0.27	75.0	17.063	0.303	ew

71389787.0	117.13923	-2.957059	0.33072	49.0	16.154	0.746	40.0	15.798	0.547	74.0	15.352	0.561	ew
71397317.0	117.219955	-2.853438	0.468115	59.0	16.488	0.227	41.0	16.065	0.227	73.0	15.845	0.226	ew
71399363.0	117.24192667	-2.771445	0.738427	50.0	17.467	0.632	52.0	16.948	0.263	70.0	16.541	0.223	ew
71407469.0	117.330275	-2.549933	0.359838	30.0	15.657	0.217	32.0	15.455	0.254	0.0	0.0	0.0	ew
71411770.0	117.377035	-2.706552	0.248141	23.0	18.626	0.352	47.0	18.139	0.513	50.0	17.253	0.404	ew
71450326.0	117.80076	-2.6749205	0.444368	59.0	16.901	0.439	41.0	16.365	0.224	71.0	15.958	0.266	ew
7147839.0	118.1136667	-2.710262	0.328442	49.0	17.57	0.641	45.0	17.221	0.525	66.0	16.789	0.578	ew
71486159.0	118.20111333	-2.7323305	9.61467	45.0	17.537	0.453	45.0	17.331	0.296	65.0	17.001	0.335	ea
71510626.0	118.48462667	-2.84876967	4.450746	57.0	15.354	0.696	49.0	15.366	0.664	79.0	15.36	0.64	ea
71527033.0	118.66233333	-2.78751733	0.318976	53.0	15.813	0.564	39.0	15.379	0.494	66.0	15.247	0.549	ew
71611980.0	119.66462667	-2.874644	0.186859	61.0	15.253	0.492	45.0	14.614	0.419	79.0	13.936	0.467	ew
71616585.0	119.724225	-2.8542885	0.353186	60.0	15.878	0.313	43.0	15.618	0.247	67.0	15.312	0.313	ew
70002139.0	105.02242	-3.1647405	0.42902	16.0	16.163	0.67	13.0	15.766	0.658	21.0	15.238	0.681	ew
70043628.0	105.43571	-3.5284595	0.67161	25.0	16.646	0.365	20.0	16.113	0.343	30.0	15.724	0.353	ew
70149246.0	106.40996	-3.42027067	1.61785	20.0	14.109	0.272	16.0	13.826	0.29	24.0	13.536	0.252	ew
70159263.0	106.50113	-3.257817	0.417511	20.0	15.539	0.552	18.0	15.134	0.57	24.0	14.345	0.677	ew
70241207.0	107.2328	-3.394056	0.390614	18.0	16.25	0.441	16.0	15.842	0.464	30.0	15.37	0.423	ew
70241389.0	107.234195	-3.481587	0.219196	19.0	14.879	0.333	19.0	14.663	0.402	26.0	14.316	0.402	ew
70248059.0	107.29355	-3.3170345	0.328218	21.0	16.085	0.435	12.0	15.291	0.373	20.0	15.078	0.373	ew
70274462.0	107.52926	-3.23485133	0.255318	24.0	15.057	0.661	13.0	14.68	0.56	28.0	14.265	0.698	ew
70323941.0	107.98062	-3.206736	0.264468	22.0	17.886	0.629	14.0	17.527	0.516	22.0	17.007	0.603	ew
70336879.0	108.08961833	-3.34197567	0.77673	31.0	14.905	0.397	13.0	14.65	0.452	20.0	14.304	0.373	ew
70342037.0	108.14725	-3.22128983	0.419226	25.0	17.377	0.695	19.0	16.836	0.591	24.0	16.21	0.559	ew
70367323.0	108.37354	-3.48574933	0.449566	26.0	15.811	0.287	17.0	15.441	0.323	32.0	14.982	0.283	ew
7039594.0	108.562	-3.3775575	0.594298	0.0	0.0	0.0	18.0	16.016	0.378	28.0	15.614	0.399	eb
7039170.0	108.56695	-3.3928975	0.439096	28.0	15.707	0.3	19.0	15.336	0.258	29.0	14.888	0.248	ew
70395839.0	108.61526	-3.1886455	0.41558	16.0	15.468	0.473	18.0	15.304	0.394	30.0	15.044	0.364	ew
70409564.0	108.7299	-3.631901	0.731884	19.0	14.385	0.572	17.0	14.086	0.525	21.0	14.185	0.554	ew
70416159.0	108.76368667	-3.51249067	0.361484	21.0	16.503	0.218	20.0	16.131	0.257	28.0	15.734	0.243	ew
70429081.0	108.89385	-3.39912	0.458124	27.0	17.099	0.364	11.0	16.694	0.398	28.0	16.258	0.324	ew
70447962.0	109.061115	-3.420501	0.384876	26.0	17.701	0.336	18.0	17.322	0.303	28.0	16.972	0.316	ew
70449282.0	109.07286333	-3.3014375	0.380982	17.0	16.856	0.785	14.0	16.53	0.724	26.0	16.056	0.907	ew
70459019.0	109.160225	-3.22729265	0.316477	23.0	18.202	0.533	20.0	17.45	0.377	0.0	0.0	0.0	ew
70465916.0	109.219285	-3.54393875	0.307402	0.0	0.0	0.0	18.0	18.138	0.338	24.0	17.44	0.352	ew
70481877.0	109.36023	-3.553619	3.921927	17.0	15.047	0.434	21.0	14.799	0.371	32.0	14.425	0.357	ea
70483947.0	109.378545	-3.18693	0.401708	20.0	16.463	0.472	18.0	16.143	0.479	29.0	15.716	0.525	ea
70487946.0	109.41446	-3.64717775	0.492936	23.0	14.825	0.427	17.0	14.241	0.453	25.0	14.202	0.445	ew
70500702.0	109.525025	-3.51	0.447068	25.0	17.536	0.559	22.0	17.149	0.583	32.0	16.663	0.546	ew
70518196.0	109.67337333	-3.2445405	0.417709	21.0	18.013	0.484	17.0	15.644	0.339	31.0	15.472	0.404	ew
7052006.0	109.96002833	-3.41575567	0.450825	24.0	16.006	0.403	18.0	17.64	0.417	33.0	17.161	0.549	ew
70549841.0	110.73566	-3.41131933	0.324884	27.0	15.871	0.74	21.0	15.42	0.517	33.0	14.886	0.684	ew
70659637.0	110.816	-3.582526	0.287892	23.0	17.208	0.315	18.0	16.864	0.292	23.0	16.66	0.322	ew
70666682.0	110.86964	-3.54547	0.392762	20.0	17.303	0.377	15.0	17.012	0.37	26.0	16.618	0.407	ew
70681909.0	110.985715	-3.276762	0.472296	28.0	15.833	0.207	18.0	15.591	0.207	27.0	15.193	0.203	ew
70705855.0	111.17541	-3.355452	0.328096	26.0	15.475	0.259	16.0	14.934	0.244	0.0	0.0	0.0	ew
70725905.0	111.33109	-3.39777	0.237682	26.0	17.661	0.64	19.0	16.882	0.623	29.0	16.225	0.647	ew
70726538.0	111.336055	-3.54595375	1.193448	22.0	14.186	0.393	18.0	13.844	0.304	0.0	0.0	0.0	ea
70753886.0	111.567205	-3.59840733	2.426756	27.0	14.904	0.453	16.0	14.591	0.414	29.0	14.255	0.415	ea
70762783.0	111.6433675	-3.2481665	12.204946	19.0	15.257	0.446	23.0	14.851	0.49	0.0	0.0	0.0	ea
70765044.0	111.74854	-3.2059205	0.389615	27.0	15.195	0.324	21.0	14.615	0.419	30.0	14.247	0.362	ew
70799176.0	111.96061	-3.5790985	1.244212	24.0	17.457	0.419	21.0	17.12	0.279	29.0	16.641	0.327	ea
70811382.0	112.067525	-3.20757287	0.334825	24.0	17.455	0.857	18.0	16.966	0.745	35.0	16.308	0.879	ew
70859626.0	112.48756333	-3.56098967	0.283628	12.0	15.302	0.317	23.0	15.24	0.369	26.0	14.586	0.33	ew

70988590.0	113.13087667	-3.36038133	0.350828	30.0	17.888	0.549	20.0	17.513	0.49	21.0	17.376	0.453	ew
70976484.0	113.43016	-3.57278367	1.689544	19.0	14.698	0.447	23.0	14.492	0.494	28.0	14.256	0.442	ew
71066626.0	114.19072833	-3.4022505	0.268191	27.0	17.317	0.344	17.0	16.921	0.278	34.0	16.406	0.315	eb
71069308.0	114.21402667	-3.448541	9.161072	16.0	15.43	0.412	20.0	14.776	0.47	33.0	14.05	0.389	ew
71112694.0	114.596435	-3.136894	0.414392	19.0	16.789	0.56	14.0	16.421	0.625	24.0	15.997	0.583	ew
71131920.0	114.76842667	-3.450966	0.891118	19.0	16.725	0.286	20.0	16.195	0.468	30.0	15.714	0.45	ea
71157259.0	114.98902	-3.456082	0.349326	25.0	16.828	0.49	21.0	16.472	0.424	35.0	16.042	0.413	ew
71178866.0	115.1721	-3.35877067	0.335418	25.0	16.672	0.419	19.0	16.278	0.391	28.0	15.895	0.403	ew
71233272.0	115.62019	-3.31602467	0.335006	24.0	15.473	0.706	20.0	15.113	0.508	28.0	14.652	0.68	ew
71258051.0	115.817925	-3.2693805	0.294484	23.0	17.933	0.675	13.0	17.421	0.481	0.0	0.0	0.0	eb
71277170.0	115.981625	-3.184174	0.263903	20.0	16.605	0.423	15.0	16.025	0.267	30.0	15.332	0.249	ew
71292680.0	116.12318	-3.47565	6.664648	0.0	0.0	0.0	19.0	16.337	0.288	34.0	15.723	0.307	ea
71299445.0	116.19376	-3.52728225	0.40572	0.0	0.0	0.0	18.0	14.122	0.38	33.0	13.824	0.417	ew
71310469.0	116.30654667	-3.26162667	0.248836	26.0	17.393	0.546	22.0	16.859	0.475	29.0	16.313	0.529	ew
71314174.0	116.34524	-3.520297	0.366241	24.0	15.736	0.892	24.0	15.34	0.843	28.0	14.936	0.744	ew
71322417.0	116.431935	-3.500038	0.645144	28.0	15.569	0.257	20.0	15.406	0.291	34.0	15.195	0.274	ew
71354262.0	116.758335	-3.256406	0.472277	27.0	16.943	0.492	25.0	16.598	0.496	34.0	16.154	0.464	ew
71358728.0	116.80470333	-3.1279	4.568401	20.0	15.031	0.531	12.0	14.825	0.478	24.0	14.57	0.651	eb
71385400.0	117.092355	-3.641792	0.34876	24.0	17.621	0.411	21.0	17.237	0.405	28.0	16.772	0.451	ew
71399124.0	117.23949	-3.6666285	0.392434	19.0	15.259	0.449	0.0	0.0	0.0	22.0	14.784	0.424	ew
71432617.0	117.60334	-3.631804	0.285664	0.0	0.0	0.0	19.0	15.949	0.583	34.0	15.493	0.593	ew
71483795.0	118.17313	-3.5911375	0.253035	26.0	17.555	0.565	19.0	17.295	0.503	34.0	17.29	0.557	ew
71499948.0	118.361955	-3.224112	0.307237	27.0	18.125	0.246	17.0	17.742	0.231	34.0	17.231	0.348	ew
71513613.0	118.5172375	-3.50279275	0.38113	27.0	15.573	0.432	0.0	0.0	0.0	30.0	14.866	0.429	ew
71541094.0	118.825865	-3.182471	0.322283	25.0	15.841	0.288	19.0	15.665	0.246	33.0	15.313	0.322	ew
71585054.0	119.32934333	-3.22311033	2.270915	22.0	16.264	0.307	20.0	15.955	0.66	39.0	16.558	0.669	ea
71595445.0	119.4587325	-3.376759	1.527011	0.0	0.0	0.0	21.0	14.306	0.455	33.0	14.074	0.488	ea
71596153.0	119.46745667	-3.20092333	0.556969	25.0	15.992	1.043	19.0	15.763	0.669	30.0	15.443	0.629	eb
71623003.0	119.80683833	-3.33401767	0.25972	25.0	17.216	0.296	19.0	16.799	0.273	38.0	16.316	0.331	ew
70015486.0	105.16053	-3.822894	1.26087	28.0	16.781	0.576	17.0	16.049	0.38	14.0	15.135	0.433	ew
70041319.0	105.41322583	-4.083487	1.999283	45.0	17.22	0.285	20.0	16.635	0.177	18.0	16.072	0.227	ew
70084514.0	105.81973	-4.08948804	0.263409	41.0	16.199	0.708	18.0	15.513	0.723	22.0	14.89	0.609	ew
70147130.0	106.39120055	-4.0417947	0.604157	36.0	16.401	0.511	21.0	16.081	0.545	19.0	15.495	0.439	eb
70236405.0	107.18959333	-3.85586967	0.265818	31.0	15.88	0.365	19.0	15.492	0.346	17.0	15.059	0.35	ew
70236412.0	107.18966583	-4.07464142	0.489074	39.0	16.403	0.372	16.0	16.051	0.233	13.0	15.55	0.262	ew
70269205.0	107.4823725	-4.07941508	6.518666	42.0	16.641	1.056	22.0	16.073	0.974	23.0	15.452	0.928	ea
70284138.0	107.618545	-3.804919	0.567477	24.0	15.311	0.294	17.0	15.036	0.229	12.0	14.84	0.221	ew
70352471.0	108.24475333	-3.89598433	0.462059	28.0	17.649	0.336	17.0	17.121	0.378	13.0	16.512	0.295	ew
70384652.0	108.5191	-4.01244134	0.580599	43.0	15.581	0.352	21.0	15.51	0.334	22.0	15.112	0.363	ew
70419346.0	108.8103775	-3.922537	1.62033	38.0	16.129	0.683	15.0	15.788	0.315	16.0	15.492	0.336	ea
70435635.0	108.95226333	-3.91720541	16.531428	29.0	16.228	0.354	24.0	15.359	0.292	22.0	14.887	0.248	ew
70436331.0	108.95839084	-4.07841929	0.37526	41.0	17.295	0.314	21.0	16.683	0.342	26.0	16.379	0.279	ew
70442555.0	109.01313	-3.856079	0.436352	28.0	16.86	0.472	18.0	16.452	0.293	13.0	16.066	0.27	ew
70456702.0	109.13928917	-4.00822659	0.306067	39.0	16.942	0.433	18.0	16.554	0.456	11.0	16.163	0.432	ew
70469206.0	109.24856666	-3.90065083	7.084636	37.0	14.847	0.625	19.0	14.367	0.779	20.0	14.573	0.874	ea
70575450.0	110.15110834	-4.0661915	0.467126	47.0	16.782	0.486	20.0	16.366	0.396	23.0	15.919	0.422	ew
70576396.0	110.15894167	-3.84310567	0.368468	34.0	17.117	0.656	16.0	16.618	0.623	13.0	16.125	0.531	ew
70599060.0	110.33713862	-4.05484784	0.984892	40.0	17.124	0.538	22.0	16.835	0.465	25.0	16.497	0.376	ew
70618385.0	110.48336375	-4.05339462	0.275865	35.0	15.356	0.447	0.0	0.0	0.0	21.0	14.591	0.43	ew
70630614.0	110.57979416	-3.90968196	0.410609	35.0	14.511	0.455	21.0	14.122	0.328	21.0	13.685	0.397	ew
70633677.0	110.60455583	-4.13300934	0.608512	36.0	15.233	0.701	19.0	15.02	0.673	20.0	14.758	0.666	ew
70639101.0	110.64878125	-4.03063375	0.38901	33.0	17.63	0.441	14.0	17.186	0.386	14.0	16.355	0.421	ew
70651515.0	110.74949375	-3.95564871	0.305543	33.0	16.403	0.584	14.0	16.338	0.475	20.0	15.513	0.542	ew

70659534.0	110.81517383	-4.21865542	0.507607	27.0	15.959	2.39	0.0	0.0	0.0	25.0	14.773	0.728	ea
70673153.0	110.9183125	-4.21820425	0.996789	24.0	15.473	2.214	0.0	0.0	0.0	24.0	14.82	0.436	ea
70678357.0	110.95876167	-4.09487767	0.339819	49.0	16.742	0.222	23.0	16.131	0.173	23.0	15.754	0.253	ew
70731893.0	111.37966	-3.804546	0.313686	28.0	16.449	0.526	14.0	15.998	0.377	11.0	15.405	0.36	ew
70733462.0	111.39296	-4.0497365	0.328682	44.0	16.68	0.475	0.0	0.0	0.0	23.0	15.455	0.43	ew
70764200.0	111.6544775	-3.99179087	0.407366	39.0	17.226	0.48	0.0	0.0	0.0	22.0	16.403	0.485	ew
70776462.0	111.76104375	-3.940326	0.536211	38.0	14.333	0.302	15.0	14.32	0.31	10.0	13.849	0.252	ew
70864801.0	112.3847025	-3.874399	3.152495	31.0	15.205	0.868	13.0	14.642	0.373	20.0	14.205	0.66	ea
70933035.0	113.08713	-3.8246705	0.335814	28.0	16.715	0.606	14.0	16.211	0.226	16.0	15.766	0.208	ew
70964963.0	113.33445	-4.16203325	0.285793	37.0	17.531	0.713	17.0	17.043	0.531	15.0	16.523	0.519	ea
71003955.0	113.65578875	-4.11208812	0.355265	38.0	16.787	0.808	16.0	16.417	0.75	21.0	15.974	0.696	eb
71009852.0	113.70489611	-4.13616189	0.304785	41.0	16.328	0.589	20.0	15.794	0.547	17.0	15.257	0.486	eb
71036349.0	113.9281025	-3.8588905	0.346054	37.0	16.003	0.578	0.0	0.0	0.0	17.0	15.054	0.385	ew
71050234.0	114.04676917	-3.92663017	0.296868	44.0	15.714	0.545	23.0	15.225	0.427	17.0	14.667	0.528	ew
71063356.0	114.1614325	-4.05059942	0.508032	45.0	17.513	0.596	18.0	16.903	0.284	17.0	16.327	0.301	ea
71103614.0	114.514875	-4.160112	0.355674	30.0	18.433	0.629	18.0	17.703	0.486	0.0	0.0	0.0	ew
71202458.0	115.3715225	-4.1133561	0.353442	43.0	16.95	0.453	0.0	0.0	0.0	26.0	16.117	0.38	ew
71328295.0	116.49885694	-4.10929967	0.31353	42.0	17.714	0.448	22.0	17.309	0.426	21.0	16.85	0.281	ew
71346080.0	116.67603722	-4.1753975	0.32889	29.0	16.704	0.469	22.0	16.398	0.469	27.0	15.994	0.422	ew
71408694.0	117.34337167	-4.03357283	0.041551	41.0	17.566	0.372	25.0	17.158	0.248	24.0	16.751	0.409	ea
71413779.0	117.39996	-4.00306293	0.418936	45.0	16.988	0.272	25.0	16.753	0.271	22.0	16.593	0.275	ew
71419075.0	117.45691407	-3.99180622	3.893636	45.0	15.878	0.642	21.0	15.259	0.631	23.0	14.462	0.547	eb
71437037.0	117.65245667	-3.99153211	1.141113	50.0	16.095	0.328	24.0	15.971	0.382	26.0	15.686	0.389	ea
71458160.0	117.887265	-4.10934613	0.546683	40.0	14.113	0.391	0.0	0.0	0.0	27.0	13.321	0.382	ew
71483854.0	118.17383611	-4.09096622	0.293888	42.0	14.923	0.204	23.0	14.67	0.206	20.0	14.356	0.139	ew
71488402.0	118.22626667	-3.832136	0.45856	31.0	16.415	0.406	15.0	16.314	0.279	19.0	15.626	0.362	ew
7149801.0	118.36025792	-4.13681546	0.312215	39.0	17.97	0.7	20.0	17.572	0.625	19.0	17.114	0.773	ew
71508785.0	118.46326667	-4.12911617	0.494912	43.0	15.43	0.317	18.0	15.212	0.245	20.0	14.991	0.349	ew
71515687.0	118.53882333	-4.214985	0.909771	29.0	14.422	0.284	15.0	14.096	0.291	20.0	13.935	0.674	ew
71543125.0	118.84201291	-4.12134437	0.228594	37.0	17.57	0.729	18.0	17.228	0.447	23.0	16.648	0.643	ew
71548827.0	118.90594334	-4.23017442	1.893632	35.0	14.452	0.457	9.0	14.254	0.25	21.0	14.015	0.715	ea
71556510.0	118.99294083	-3.96406769	5.825307	36.0	15.247	0.475	17.0	14.912	0.438	24.0	14.481	0.476	ew
71568922.0	119.13618666	-4.241311	0.293876	19.0	15.119	0.7	19.0	14.618	0.653	19.0	14.14	0.703	ea
71576051.0	119.21987375	-3.93499191	2.802174	42.0	15.19	0.33	23.0	14.924	0.372	21.0	14.618	0.339	ew
71612248.0	119.66840944	-4.02840767	0.372805	39.0	16.105	0.362	22.0	15.831	0.364	13.0	15.444	0.349	ew
71625223.0	119.83593556	-4.15198061	0.364361	31.0	16.902	0.329	18.0	16.466	0.303	19.0	16.0	0.782	ew
80035729.0	120.44299	-2.80291025	0.486791	61.0	14.237	0.504	50.0	13.886	0.524	0.0	0.0	0.0	ea
80037563.0	120.46684	-3.037246	4.230255	39.0	14.255	0.573	34.0	13.964	0.422	64.0	13.716	0.443	ea
80043922.0	120.54826	-2.8253825	0.898741	64.0	15.138	0.341	50.0	14.904	0.357	0.0	0.0	0.0	ew
80073990.0	120.82686	-2.678927	0.379372	71.0	16.514	0.507	44.0	16.215	0.436	0.0	0.0	0.0	ew
80092610.0	121.16711	-2.835396	0.407059	65.0	15.063	0.298	58.0	14.812	0.233	0.0	0.0	0.0	ew
80136658.0	121.74689	-2.781722	0.250858	38.0	18.053	0.859	60.0	17.612	0.696	87.0	17.522	0.493	ew
80190546.0	122.4821	-2.59313	0.242142	28.0	18.261	0.713	48.0	17.854	0.649	64.0	17.449	0.604	ew
80228202.0	123.0200025	-2.6968895	0.334515	0.0	0.0	0.0	50.0	18.588	0.638	76.0	18.122	0.411	ea
80248581.0	123.31773	-2.63942633	0.291322	46.0	18.089	0.635	46.0	17.443	0.636	90.0	16.905	0.489	ew
80250382.0	123.34312167	-2.90361067	0.341968	62.0	14.36	0.361	46.0	14.402	0.387	82.0	14.08	0.348	ew
80309940.0	124.24803	-3.005611	0.337382	0.0	0.0	0.0	38.0	17.177	0.471	71.0	16.845	0.439	ew
80342868.0	124.7705	-2.5126495	10.269871	18.0	18.102	0.519	32.0	17.438	0.652	54.0	16.843	0.589	ea
80365215.0	125.13483	-2.908684	0.202176	56.0	17.886	0.597	46.0	17.231	0.413	0.0	0.0	0.0	ew
80383570.0	125.445995	-2.818875	0.341059	68.0	15.122	0.259	50.0	14.694	0.217	0.0	0.0	0.0	ew
80416105.0	126.0141	-2.923276	0.772012	61.0	17.488	0.656	41.0	17.615	0.403	80.0	17.393	0.452	ew
80432262.0	126.29541333	-2.63180233	0.334734	59.0	16.626	0.587	48.0	16.361	0.364	78.0	16.2	0.414	ew
80453363.0	126.66495333	-2.806712	0.216779	65.0	16.548	0.318	48.0	16.053	0.31	86.0	15.645	0.405	ew

80462415.0	127.189225	-2.890823	0.401779	65.0	16.349	0.662	50.0	15.985	0.703	0.0	0.0	0.0	ew
80482473.0	127.19027	-2.6299685	0.314988	51.0	17.38	0.405	50.0	16.737	0.39	0.0	0.0	0.0	ea
80529680.0	128.09208	-2.8593765	0.214279	61.0	16.138	0.41	50.0	15.796	0.363	0.0	0.0	0.0	ew
80538135.0	128.25861667	-2.84860567	0.272802	62.0	17.154	0.548	52.0	16.416	0.372	86.0	16.012	0.76	ew
80550396.0	128.499985	-2.581436	0.491809	51.0	14.905	0.569	42.0	14.963	0.201	80.0	14.399	0.509	ew
80579393.0	129.07258667	-2.857809	0.459967	55.0	16.085	0.294	48.0	15.714	0.204	86.0	15.461	0.237	ew
80671001.0	131.01051	-2.882458	1.162372	60.0	15.879	0.26	37.0	15.767	0.277	90.0	15.711	0.278	ew
80760463.0	133.22935	-2.859919	0.38263	51.0	17.029	0.392	46.0	16.789	0.323	78.0	16.664	0.329	ew
80007177.0	120.09123333	-3.48136483	0.273793	37.0	16.966	0.315	23.0	16.574	0.274	43.0	16.186	0.316	ew
80026440.0	120.327815	-3.311985	0.267176	32.0	16.892	0.828	21.0	16.448	0.739	41.0	16.053	0.696	ew
80057215.0	120.71554	-3.3998305	0.33863	37.0	15.715	0.909	24.0	15.405	0.505	45.0	15.136	0.801	ew
80075453.0	120.946125	-3.1728905	0.328363	0.0	0.0	0.0	18.0	14.685	0.505	34.0	14.428	0.352	ew
80120014.0	121.52158	-3.30255467	0.518225	30.0	14.362	0.305	23.0	14.193	0.25	45.0	14.061	0.273	ew
80131348.0	121.67384	-3.194448	0.319448	36.0	16.925	0.492	18.0	16.36	0.272	29.0	15.932	0.235	ew
80324778.0	124.477815	-3.20029133	0.319448	29.0	17.178	0.857	22.0	16.851	0.868	32.0	16.536	0.898	ew
80332259.0	124.59586	-3.358432	0.383404	29.0	17.223	1.091	26.0	16.772	0.984	42.0	16.379	0.91	ew
80337842.0	124.68815667	-3.587468	0.54675	32.0	17.815	0.347	21.0	17.033	0.244	39.0	16.5	0.294	ew
80380421.0	125.39286	-3.1605905	0.209002	26.0	17.046	0.418	24.0	16.917	0.479	34.0	16.748	0.354	ew
80398835.0	125.70855	-3.618717	0.766878	29.0	17.053	0.418	24.0	16.917	0.479	34.0	16.748	0.354	ew
80306755.0	124.197945	-3.678561	0.297626	0.0	0.0	0.0	16.0	16.45	0.412	25.0	15.948	0.427	ew
80324778.0	124.477815	-3.4832385	0.486676	33.0	16.302	0.58	25.0	15.955	0.326	40.0	15.654	0.841	ew
80332259.0	124.59586	-3.358432	0.235542	36.0	17.608	0.566	21.0	17.043	0.346	45.0	16.558	0.349	ew
80337842.0	124.68815667	-3.587468	0.277439	34.0	18.15	0.674	24.0	17.593	0.581	41.0	17.038	0.524	ew
80380421.0	125.39286	-3.1605905	0.211786	26.0	17.046	0.296	17.0	16.525	0.212	32.0	16.214	0.295	ew
80398835.0	125.70855	-3.618717	0.334695	29.0	16.475	0.229	18.0	15.874	0.251	40.0	15.348	0.254	ew
80411627.0	125.93565	-3.618193	0.238116	27.0	16.661	0.412	20.0	16.191	0.295	34.0	15.727	0.383	ew
80444806.0	126.51614	-3.348816	0.345034	29.0	14.998	0.534	23.0	14.621	0.489	38.0	14.243	0.501	ew
80475567.0	127.06343	-3.3855395	0.381754	35.0	16.716	0.361	0.0	0.0	0.0	39.0	16.122	0.334	ew
80496178.0	127.44781667	-3.27842967	0.247964	32.0	18.509	0.886	23.0	18.002	0.567	34.0	17.453	0.511	ew
80510152.0	127.71499667	-3.51732467	0.451642	26.0	16.285	0.617	21.0	16.004	0.522	39.0	15.689	0.573	ew
80560757.0	128.69567667	-3.50223	0.417666	24.0	18.759	1.103	19.0	18.032	0.9	41.0	17.417	0.906	ew
80563334.0	128.74582	-3.18595	0.268678	33.0	16.902	0.451	20.0	16.484	0.262	39.0	15.718	0.231	ew
80640655.0	130.37404167	-3.22219867	0.33652	35.0	15.088	0.37	19.0	14.666	0.329	40.0	14.317	0.357	ew
80660959.0	130.78673333	-3.64345967	0.365484	27.0	16.484	0.554	19.0	16.086	0.527	21.0	15.74	0.509	ew
80705613.0	131.8343	-3.142313	0.553944	23.0	16.24	0.456	14.0	16.096	0.322	27.0	15.953	0.648	ew
80714634.0	132.0518	-3.589294	0.801264	37.0	16.992	0.562	22.0	16.809	0.417	36.0	16.644	0.394	ew
80802886.0	134.38629	-3.160629	0.486016	23.0	14.963	0.831	15.0	14.642	0.383	32.0	14.411	0.43	ew
80003367.0	120.04339167	-4.09481333	1.976066	59.0	14.314	0.696	27.0	14.093	0.644	23.0	13.89	0.873	ea
80014251.0	120.177645	-3.901706	0.349381	54.0	16.776	0.942	29.0	16.3	0.842	28.0	15.851	0.788	eb
80029283.0	120.36295333	-3.788041	0.389607	35.0	17.268	0.43	17.0	16.943	0.405	19.0	16.35	0.61	ew
80067623.0	120.84715667	-3.788734	0.875386	33.0	15.437	0.608	18.0	15.097	0.54	24.0	14.818	0.494	ew
80097504.0	121.23097111	-4.12129305	0.456	57.0	15.006	0.762	28.0	14.807	0.438	33.0	14.522	0.455	ew
80123250.0	121.563745	-4.15224833	0.330957	46.0	16.287	0.564	29.0	16.0	0.611	35.0	15.66	0.978	ew
80148444.0	121.90541875	-4.04976346	0.493436	54.0	15.025	0.728	34.0	14.696	0.626	35.0	14.434	0.591	ew
80201516.0	122.63421333	-3.90123133	0.272668	53.0	15.259	0.888	33.0	14.852	0.611	34.0	14.464	0.571	ew
80204989.0	122.68446667	-4.23718628	0.327671	50.0	15.919	0.391	27.0	15.237	0.617	31.0	14.791	0.296	ew
80205630.0	122.68329889	-4.13653522	0.261988	49.0	16.633	0.249	32.0	16.206	0.408	33.0	15.837	0.659	ew
80262699.0	123.52601917	-4.03658996	0.360078	56.0	17.005	0.415	33.0	16.619	0.595	32.0	16.231	0.381	ew
80269434.0	123.62445375	-3.955162	0.626537	41.0	18.637	0.613	33.0	18.419	0.731	17.0	18.595	0.628	ew
80271843.0	123.65965968	-3.9906979	0.225928	38.0	19.11	0.679	33.0	18.332	1.042	33.0	17.846	0.541	ew
80292101.0	123.9695775	-4.23081962	0.337366	48.0	17.409	0.624	29.0	16.735	0.365	27.0	15.994	0.618	ea
80292570.0	123.976672583	-4.01895296	0.401382	59.0	16.369	0.433	32.0	16.001	0.596	32.0	15.608	0.336	ew
80365166.0	125.13414625	-4.27031525	0.268745	32.0	15.496	0.463	21.0	14.991	0.39	18.0	14.471	0.421	ew
80400041.0	125.72962	-3.80013125	2.411834	34.0	16.146	0.557	23.0	15.53	0.692	0.0	0.0	0.0	ea

80404115.0	125.80229667	-4.05669825	0.320793	58.0	15.138	0.296	30.0	15.003	0.24	33.0	14.539	0.329	ew
80470454.0	126.96958374	-3.98813679	1.995428	57.0	14.984	0.371	28.0	14.608	0.215	33.0	13.992	0.123	ew
80499392.0	127.50873625	-4.02884625	0.349196	64.0	14.487	0.23	28.0	14.073	0.261	34.0	13.661	0.284	ew
80526300.0	128.024895	-4.29170121	0.437159	30.0	14.415	0.673	18.0	13.942	0.551	16.0	13.496	0.559	ew
80549180.0	128.47616875	-4.24795987	0.481372	41.0	13.923	0.454	23.0	13.727	0.278	24.0	13.536	0.471	ew
80598558.0	129.4758375	-4.10502113	0.518211	57.0	16.006	0.449	26.0	15.563	0.413	28.0	15.056	0.281	ew
80612587.0	129.77971375	-4.13133329	1.779399	54.0	16.745	0.496	27.0	16.436	2.614	30.0	15.94	0.533	ea
80612668.0	129.7814875	-4.09331617	1.008947	60.0	14.991	0.26	29.0	14.705	0.254	33.0	14.369	0.233	ea
80654234.0	130.646575	-4.03396321	0.399126	56.0	17.337	0.421	27.0	17.057	0.875	19.0	16.759	0.41	ew
80655851.0	130.682115	-3.839097	0.419218	39.0	16.92	0.512	0.0	0.0	0.0	11.0	16.589	0.267	ew
80672147.0	131.03618875	-4.11113687	0.244423	56.0	15.083	0.887	27.0	14.304	0.788	20.0	13.35	0.633	ew
80704763.0	131.81352084	-4.27194017	1.995182	30.0	17.849	0.469	21.0	17.957	0.376	20.0	17.493	0.356	ew
51121900.0	85.13324667	-4.72249178	0.306746	20.0	16.626	0.585	11.0	15.687	0.597	21.0	14.723	0.55	ew
80375784.0	125.31237667	-6.02898233	0.356022	17.0	14.919	0.509	9.0	14.4	0.593	13.0	13.867	0.456	eb

www.dodigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

Bibliografía

- Arenou, F. 2011, in AIP Conference Proceedings, ed. A. Publishing, 107
- Basri, G., & Reiners, A. 2006, AJ, 132, 663
- Batten, A. 1973, Binary and Multiple Systems, 1st edn. (Victoria, B.C., Canada: Pergamon Press)
- Chabrier, G. 2003, ApJ, 115, 763
- Crosby, B., O'Shea, B., Smith, B., Turk, M., & Hahn, O. 2013, ApJ, 773, 108
- Csizmadia, S., & Klagyivik, P. 2004, A & A, 426, 1001
- Drake, A. et al. 2014, ApJ, 213, 9
- Duquennoy, A., & Mayor, M. 1991, A& A, 248, 485
- Duquennoy, A., & Mayor, M. 1991, A& A, 248, 485
- Eggleton, P. 2006, Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars, 1st edn. (Cambridge, UK: Cambridge University Press)
- Etzel, P. 1981, in Photometric and Spectroscopic Binary Systems, ed. E. B. Carling & Z. Kopal, 111
- Faccioli, L., Alcock, C., Cook, K., Prochter, G., Protopapas, P., & Syphers, D. 2007, ApJ, 134, 1963
- Gettel, S., Geske, M., & McKay, T. 2006, ApJ, 131, 621
- Graczyk, D. et al. 2011, Acta Astronómica, 61, 103
- Hernández-Pérez, F., & Bruzual, G. 2013, MNRAS, 431, 2612
- Hoffmeister, C., Richter, G., & Wenzel, W. 1985, Variable Stars, 1st edn. (Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag)

- Jordi, K., Grebel, E. K., & Ammon, K. 2006, , 460, 339
- Kallrath, J., & Milone, E. 2009, *Eclipsing Binary Stars: Modeling and Analysis*, 1st edn. (New York, USA: A & A Library)
- Kinman, T. D., & Brown, W. R. 2010, *The Astronomical Journal*, 139, 2014
- Kopal, Z. 1959, *Close binary systems (The International Astrophysics Series, London: Chapman Hall, 1959)*
- Kunder, A., & Chaboyer, B. 2009, arXiv, astro-ph/0908.2628v1, no Oosterhoff gap in galactic bulge rrlyrae
- Lafer, K., & Kinman, T. 1965, *ApJS*, 11, 216
- Mason, B. D., Gies, D. R., Hartkopf, W. I., Bagnuolo, Jr., W. G., ten Brummelaar, T., & McAlister, H. A. 1998, *AJ*, 115, 821
- Mateu, C. 2011, PhD thesis, Universidad Central de Venezuela, Venezuela
- Mateu, C., Vivas, A. K., Downes, J. J., Briceño, C., Zinn, R., & Cruz-Díaz, G. 2012, *MNRAS*, 427, 3374
- Miceli, A. et al. 2008, *The Astrophysical Journal*, 678, 865
- Percy, J. 2007, *Understanding variable stars*, 1st edn. (Cambridge University Press)
- Pietrzynski, I. et al. 2010, *Nature*, 468, 542
- Pojmanski, G. 1997, *Acta Astronómica*, 47, 467
- Press, W. ad Teukolsky, S., Vetterling, W., & Flannery, B. 1992, *Numerical Recipes in C: The Art of Computing*, 2nd edn. (Cambridge, USA: Cambridge University Press)
- Pribulla, T., Kreiner, J., & Tremko, J. 2003, *CoSka*, 33, 38
- Robin, A. et al. 2012, *A & A*
- Rucinski, S. 1994, , 106, 462
- Rucinski, S. M. 1993, *PASP*, 105, 1433
- Samus, N., Durlevich, O., Kazarovets, E., Kireeva, N., Pastukhova, E., & Zharova, A. 2009, *Vizie Online Data Catalog*, 1, 2025
- Sesar, B. et al. 2010, , 708, 717

Sterken, C., & Jaschek, C. 2005, *Light Curves of Variable Stars: A Pictorial Atlas*, 1st edn.
(Cambridge, UK: Cambridge University Press)

Stetson, P. 1996, *PASP*, 108, 851

Vivas, A. K. et al. 2003, *ApJ*, 127, 1158

Wilson, R., & Devinney, E. 1971, *ApJ*, 166, 605

Wozniak, P. R. et al. 2004, *VizieR Online Data Catalog*, 2287, 0

Zejda, M., Paunzen, E., Baumann, B., Mikulasek, Z., & Liska, J. 2012, *A & A*, 548, 97

www.bdigital.ula.ve