

Colores de Centauros

Tegler, Bauer, Romanishin & Peixinho
(2006)

1. Introducción.
2. Mediciones de colores.
3. Test estadísticos de bimodalidad en B-R y H-K.
4. Diferencias entre las dos poblaciones de colores.
5. Colores de otros objetos del sistema solar.
6. Posibles explicaciones.
7. Conclusiones.

1. Introducción:

Centauro: es un objeto en una órbita cuyo semieje mayor a , menor que la órbita de Neptuno en 30.1 UA y distancia al perihelio q , mayor que la órbita de Júpiter a 5.2 UA. (Definición del MPC).

Son **dinámicamente inestables** porque sus órbitas cruzan las órbitas de los planetas exteriores. Tienen tiempos de vida de millones de años.

Algunos Centauros evolucionan a cometas de la familia de Júpiter (CFJ), otros son eyectados del Sistema Solar y otros impactan con los planetas gigantes.

1. Introducción:

Además, algunos CFJ evolucionan nuevamente a Centauros.

La masa total de los Centauros es una cantidad significativa en el Sistema Solar.

Lo que hoy en día conocemos de sus **propiedades físicas y químicas** es por la **fotometría**.

A distancias muy lejanas del Sol, el ambiente es muy frío como para que se sublime el hielo del agua e impulse la formación de la coma, es posible que sean elementos más volátiles como hielo de CO o CO₂.

1. Introducción:

Centauros y objetos del cinturón de Kuiper (OCK) muestran un amplio **rango de colores** por distintos motivos:

1) La **radiación solar y cósmica enrojecen** las superficies.

2) Los **impactos** de objetos pequeños perforan la superficie enrojecida exponiendo el interior original de hielo **gris** (*Luu & Jewitt, 1996*).

Mediciones ópticas de color B-R de Centauros los divide en **2 poblaciones diferentes** (*Peixinho et al, 2003; Tegler et al, 2003*).

2. Mediciones de colores:

1) Objetos con Coma:

Es muy difícil medir colores de las superficies de Centauros activos ya que hacen falta **observaciones en momentos de inactividad**, que son impredecibles, cuando la **superficie no está cubierta de gas y polvo**.

Cuando están en actividad muestran superficies que absorben luz del sol, casi con la misma eficiencia entre longitudes de onda entre 5500 y 6500 Å, es decir, que muestran superficies con colores cercanos al solar $(V-R)_{\odot} = 0.36$ (*Bauer et al, 2003*).

2. Mediciones de colores:

2) Objetos sin Coma:

- B-R:

Dos grupos simultánea e independientemente descubrieron que los Centauros muestran pendientes distintas en sus espectros entre 4500 y 6500 Å.

Las medidas de los dos colores para cada Centauro fueron obtenidas en **fases rotacionales al azar** por lo que se cree que **no tienen grandes variaciones en sus superficies.**

Se encuentra una **distribución bimodal.**

TABLE 1. Centaur colors and orbital elements.

Name	Number	Prov Des	B-R	Source*	a	Q	q	i	e	H
Chiron	95626	2002 GZ ₃₂	1.03 ± 0.04	TRC	23.03	28.02	18.03	15.02	0.217	6.84
	2060	1977 UB	1.04 ± 0.05	Pei	13.49	18.57	8.40	6.99	0.377	6.16
Bienor		2002 DH ₅	1.05 ± 0.07	Pei	22.19	30.41	13.96	22.46	0.371	10.20
	54598	2000 QC ₂₄₃	1.12 ± 0.03	avg	16.48	19.76	13.20	20.73	0.199	7.52
Hylonome	119315	2001 SQ ₇₃	1.13 ± 0.02	TRC	17.51	20.60	14.42	17.42	0.176	9.57
	10370	1995 DW ₂	1.15 ± 0.06	avg	25.11	31.36	18.86	4.14	0.249	8.93
Thereus		2000 FZ ₅₃	1.17 ± 0.05	TRC	23.67	34.99	12.34	34.90	0.478	11.41
	32532	2001 PT ₁₃	1.18 ± 0.01	TRC	10.71	12.86	8.55	20.34	0.202	8.67
Okyrhoe		2001 BL ₄₁	1.20 ± 0.03	avg	9.79	12.71	6.87	12.47	0.298	11.51
	52872	1998 SG ₃₅	1.21 ± 0.02	avg	8.41	10.99	5.84	15.62	0.306	10.93
Asbolus		2003 WL ₇	1.23 ± 0.04	TRC	20.14	25.35	14.94	11.17	0.258	8.98
	8405	1995 GO	1.23 ± 0.05	avg	18.16	29.46	6.86	17.61	0.622	9.07
Pelion	120061	2003 CO ₁	1.24 ± 0.04	TRC	20.87	30.79	10.94	19.73	0.476	8.81
	49036	1998 QM ₁₀₇	1.25 ± 0.04	avg	20.14	22.96	17.32	9.36	0.140	10.37
Chariklo	10199	1997 CU ₂₆	1.26 ± 0.04	avg	15.82	18.50	13.13	23.38	0.170	6.40
Echeclus	60558	2000 EC ₉₈	1.38 ± 0.04	avg	10.71	15.63	5.80	4.35	0.458	9.50
Elatus	31824	1999 UG ₅	1.70 ± 0.02	avg	12.74	18.02	7.46	5.59	0.414	9.88
Amycus	55576	2002 GB ₁₀	1.79 ± 0.03	avg	25.01	34.81	15.21	13.35	0.392	7.45
	88269	2001 KF ₇₇	1.81 ± 0.04	TRC	25.87	31.96	19.77	4.36	0.236	9.49
Crantor	83982	2002 GO ₉	1.85 ± 0.02	avg	19.34	24.65	14.04	12.78	0.274	8.60
Cyllarus	52975	1998 TF ₃₅	1.86 ± 0.05	avg	26.41	35.56	16.26	12.62	0.384	9.25
	121725	1999 XX ₁₄₃	1.86 ± 0.07	Pei	17.98	26.30	9.66	6.77	0.463	8.53
Nessus	7066	1993 HA ₂	1.88 ± 0.06	Pei	24.83	37.85	11.81	15.63	0.524	9.54
		2001 XZ ₂₅₅	1.92 ± 0.07	TRC	16.03	16.59	15.47	2.61	0.035	11.13
Pholus		1994 TA	1.92 ± 0.06	avg	16.76	21.84	11.67	5.40	0.303	11.43
	5145	1992 AD	2.04 ± 0.07	avg	20.25	31.81	8.69	24.71	0.571	6.89

*Source: TRC = Tegler et al. (2003); Pei = Peixinho et al. (2003). Avg = weighted average of colors from TRC and Pei.

2. Mediciones de colores:

- V-R y R-I:

Se realizaron mediciones de 24 Centauros en estas bandas y **no se encontraron poblaciones distintas.**

- H-K:

Mediciones de 17 objetos en IR cercano. *Delsanti et al. 2006*, encontraron 2 resultados importantes:

1) Los gráficos **color-color** H-K vs. B-R muestran objetos **divididos en 2 grupos.**

2) Los Centauros con **B-R más rojo** tienen **H-K más azules que el Sol.**

3. Test estadísticos de bimodalidad en B-R y H-K:

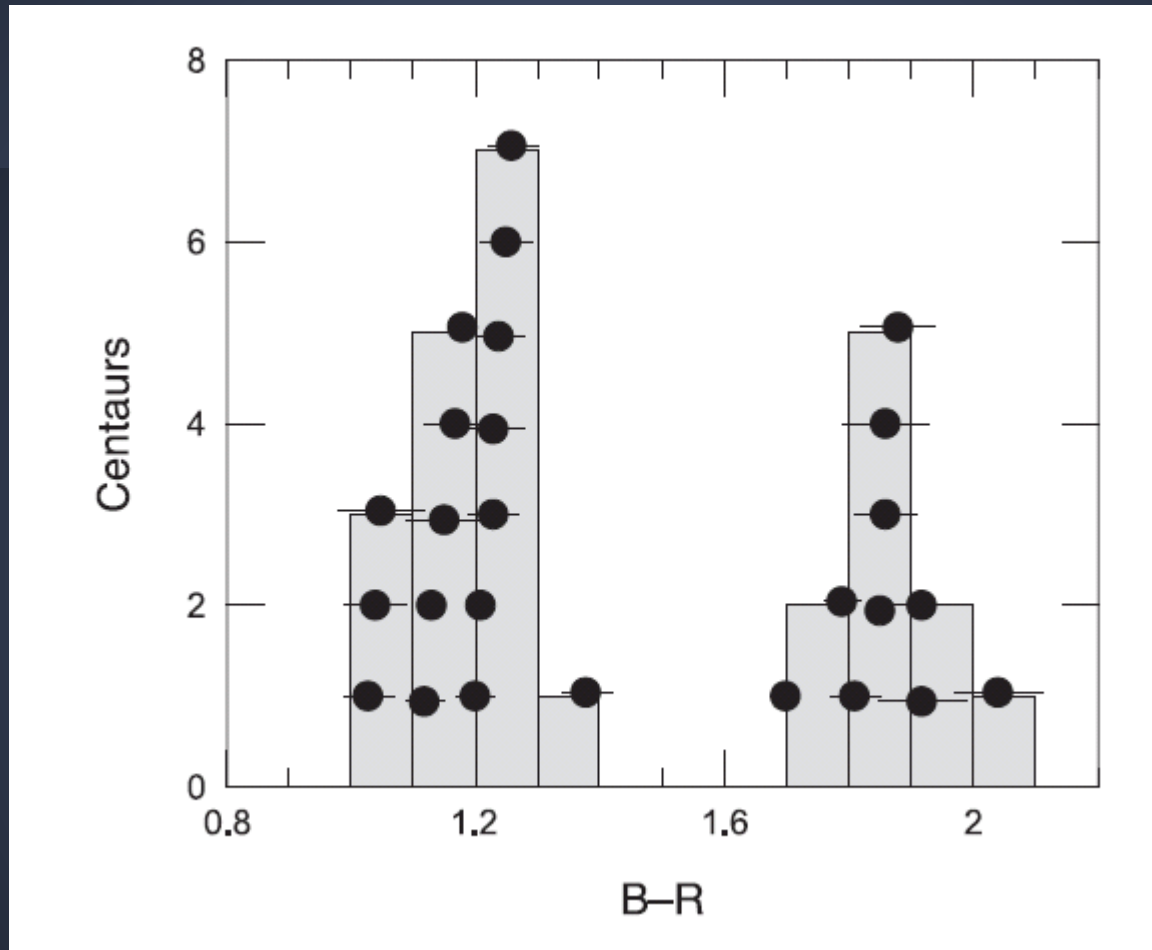
Test estadístico de bimodalidad para B-R y H-K:

Se utiliza el "**dip test**" (*Hartigan & Hartigan, 1985*), que es un test de ajuste que no asume una distribución particular de probabilidad. Encuentra la función unimodal que mejor ajusta y **mide la diferencia entre los máximos de la distribución empírica y la función teórica encontrada.**

Es similar al test de Kolmogorov (*Kolmogorov, 1933*).

- B-R: N=26. **Bimodalidad con NC=99.5%: 10** objetos rojos y 16 grises.

3. Test estadísticos de bimodalidad en B-R y H-K:



- H-K: N=17. Bimodalidad con NC=32% con dip test. NC=96.4% con Kolmogorov.

4. Diferencias entre las dos poblaciones de colores:

Se quiere encontrar una **explicación física** para los distintos colores observados.

Se grafican los 6 elementos orbitales vs. B-R y se grafica la mediana para cada población.

- a : Los Centauros rojos tienen órbitas más grandes que los grises.
- Q : Los rojos se extienden hasta más lejos del Sol que los grises.
- q : Las poblaciones parecen idénticas.

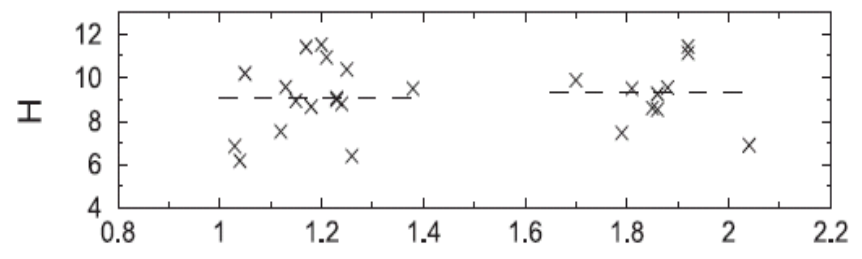
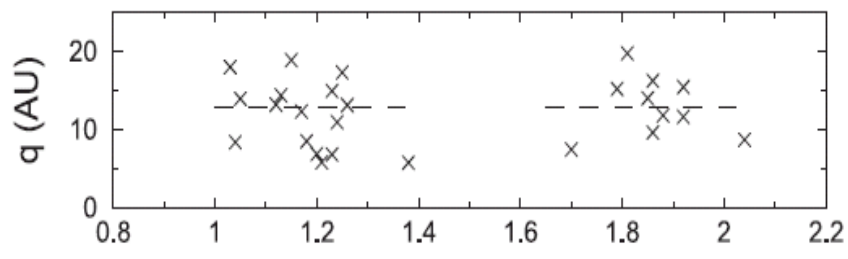
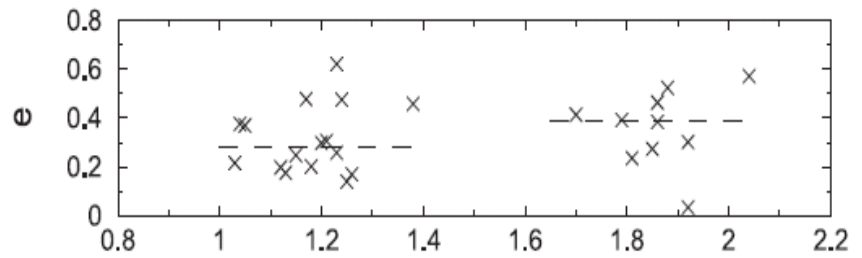
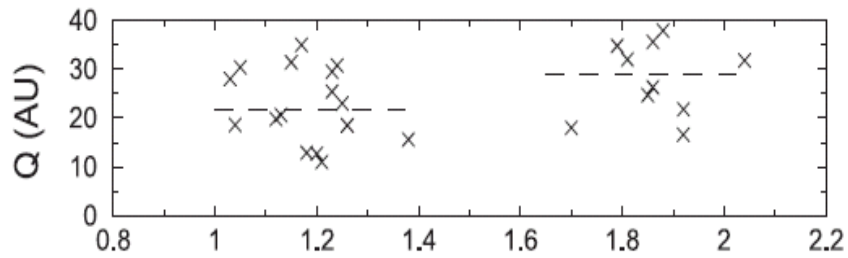
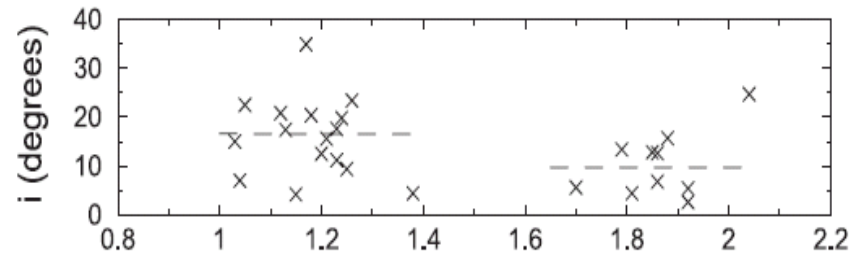
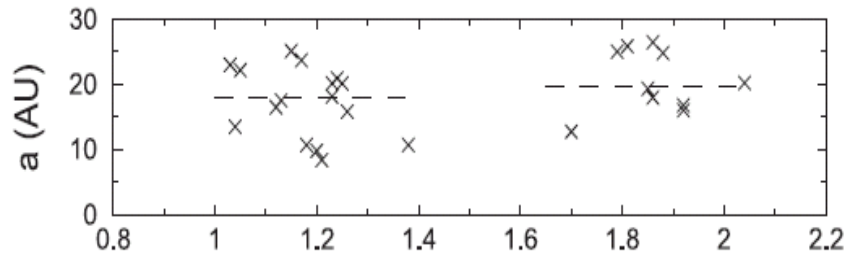
No parece haber una relación entre a , Q o q vs B-V.

4. Diferencias entre las dos poblaciones de colores:

- *i*: Todos los Centauros rojos están por debajo de la mediana de los grises menos 1. Esto sugiere que los rojos tienen inclinaciones menores que los grises.
- *e*: Los rojos tienen excentricidades mayores que los grises.
- *H*: Las magnitudes absolutas para cada población son parecidas.

Aplicando el test de Wilcoxon se encuentra que no hay diferencias estadísticas entre los parámetros de las 2 poblaciones excepto para la *i*.

4. Diferencias entre las dos poblaciones de colores:

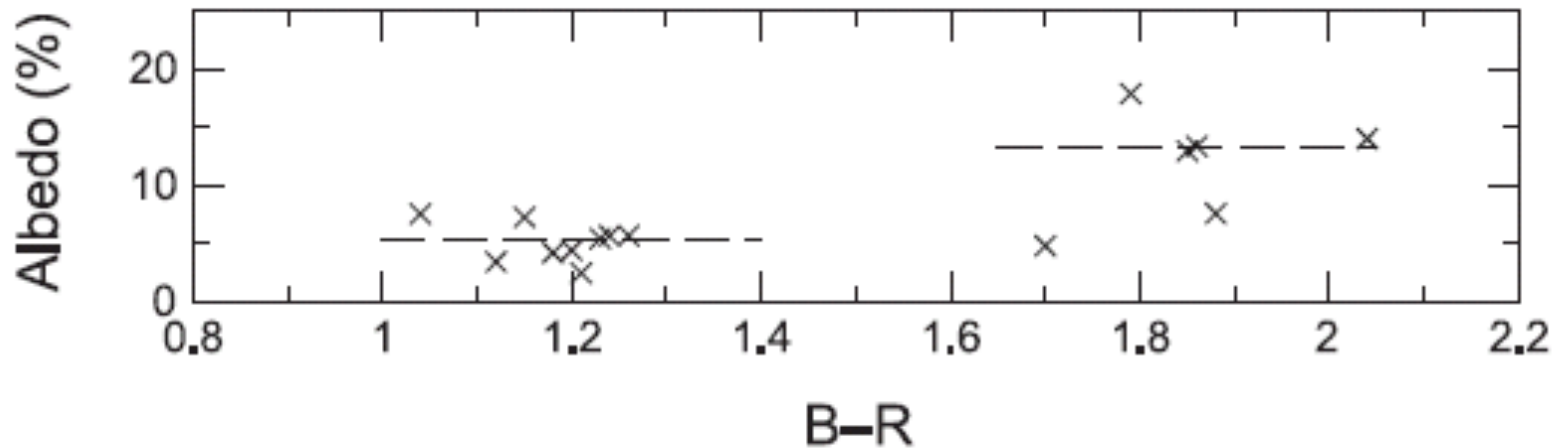


$B-R$

$B-R$

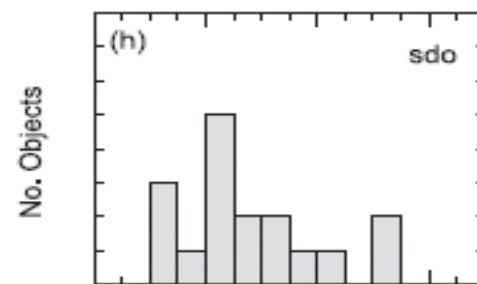
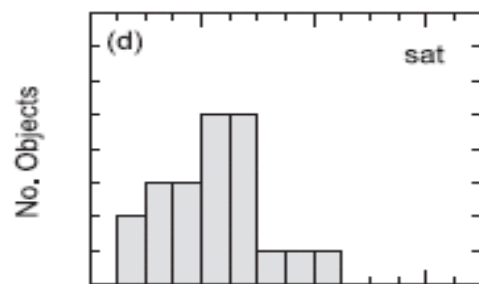
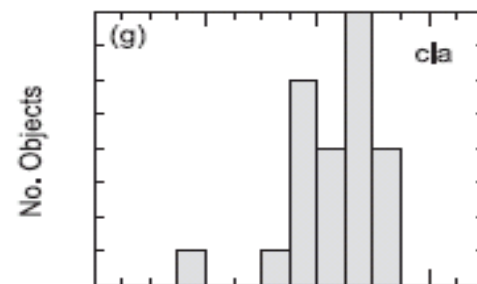
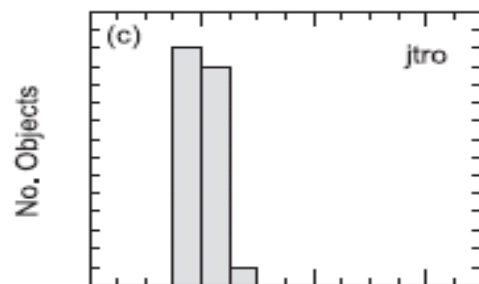
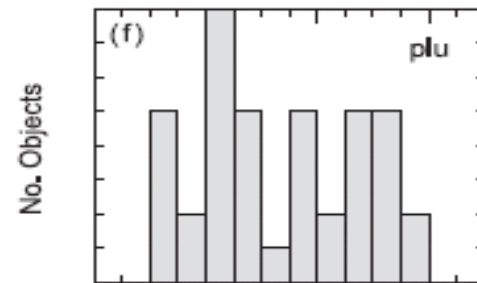
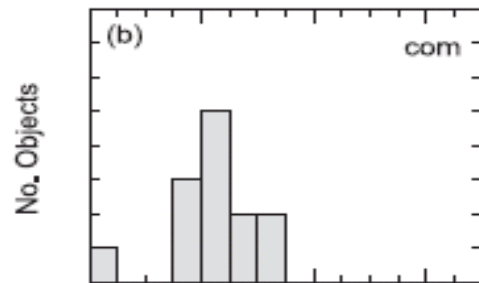
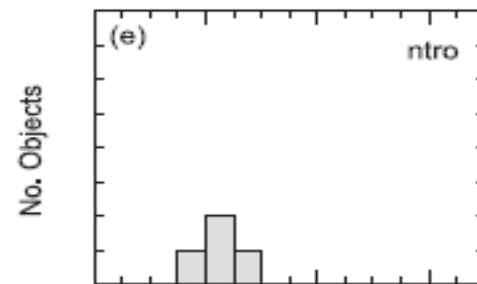
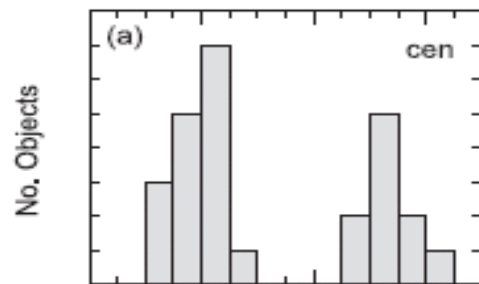
4. Diferencias entre las dos poblaciones de colores:

Para el albedo se encuentra que los grises reflejan más radiación que los rojos.



5. Colores de otros objetos del sistema solar:

- Núcleos cometarios: son parecidos a la población **gris** de los Centauros.
- Trojanos de Júpiter: **No** muestran colores parecidos a la población **roja**.
- Satélites irregulares: Similitudes con la población **gris**.
- Trojanos de Neptuno: Colores **grises**.
- OCK: Separados según sus clases dinámicas:
 - Plutinos: Van de gris a rojo de forma continua, **no** parece haber **dos poblaciones diferentes**.
 - Objetos clásicos: Superficies **rojas**.
 - SDOs: Objetos **rojos**.



0.8 1.2 1.6 2
B-R

0.8 1.2 1.6 2
B-R

6. Posibles explicaciones:

- **Evolutiva**: Este modelo asume que las superficies de los OCK son primitivas, que las colisiones al azar penetran la superficie exponiendo los materiales más primitivos que quedaron por debajo. Explica los colores independientemente de las clases dinámicas. Los **OCK con corteza rojiza pasan a ser Centauros rojos** que resisten la radiación solar, con superficies antiguas. **Los grises se transforman en Centauros grises** por los impactos: se destruye la corteza roja permitiendo la sublimación de materiales volátiles.

6. Posibles explicaciones:

- **Primordial**: Los Centauros y OCK conservan los colores primordiales. Los objetos **formados a $a < 40$ UA** tenían superficies **grises** y **$a > 40$ UA rojos**. Estos objetos fueron dispersados de sus órbitas originales por el paso de Neptuno. Los **SDOs, OCK clásicos y Plutinos con altas i** se habrían formado a **menos de 40 UA del Sol** y serían más **grises** mientras que los **OCK con baja i** se habrían formado a **más de 40 UA** y son más **rojos**. Esto significa que las **diferencias en los colores** de las poblaciones se debe a que **proviene de distintas zonas del CK**.

7. Conclusiones:

Los Centauros tienen 2 poblaciones diferentes de colores B-R. Es necesario obtener más información observacional y más trabajo teórico para poder determinar si las poblaciones se distinguen por procesos evolutivos o primordiales.