

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Preferencias de color del alimento en pinzones de Darwin y cucuves de Galápagos: Implicaciones para disminuir la muerte accidental por consumo de veneno**

**Ana Lucía Carrión Bonilla**

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Licenciada en Ecología Aplicada

Quito  
7 de diciembre de 2009

**Universidad San Francisco de Quito  
Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Preferencias de color del alimento en pinzones de Darwin y cucuves de  
Galápagos: Implicaciones para disminuir la muerte accidental por  
consumo de veneno**

**Ana Lucía Carrión Bonilla**

Stella de la Torre  
Ph.D Department of Zoology,  
University of Wisconsin,  
Madison, USA.  
Decana del Colegio de  
Ciencias Biológicas y Ambientales  
Directora de Tesis

---

Quito, 7 de diciembre de 2009

© Derechos de autor  
Ana Lucía Carrión Bonilla  
2009

## **Dedicatoria**

A mis padres, pues su amor y dedicación incondicional se han convertido en el motor que ha impulsado mis pensamientos y acciones durante mi vida.

## Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Fundación Charles Darwin por haberme brindado todo el apoyo técnico, logístico y económico que permitieron la iniciación, desarrollo y culminación de mi investigación.

Mi reconocimiento también se extiende para Birgit Fessler Ph.D., Rachel Atkinson, Ph.D. y Grant Harper Ph.D., por haberse convertido en piezas claves durante las fases de diseño, recolección y análisis de datos, así como en la etapa de redacción y corrección de mi tesis.

A Stella de la Torre Ph. D., mi directora de tesis por haberme guiado con sus sugerencias y comentarios.

A la señora Jacqueline de Roy por haberme permitido realizar los experimentos en la terraza de su casa y por seguir con entusiasmo el día a día de mi investigación.

A todos mis profesores del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad San Francisco de Quito por haber formado en mí una profesional responsable y comprometida así como una persona abierta al diálogo, propositiva y con gusto por trabajar en grupo.

A mi familia que me ha apoyado incondicionalmente y me ha enseñado la importancia del esfuerzo y la dedicación, y a todos mis amigos y amigas que siempre han estado ahí dándome ánimo

## Resumen

Las erradicaciones de roedores utilizando raticidas son una valiosa herramienta de conservación pero implican un alto riesgo de envenenamiento de especies no objetivo, especialmente de aves nativas. Para reducir el número de aves muertas es importante identificar las características (color, olor o tamaño) que las repelen e incorporarlas al veneno utilizado durante las erradicaciones. Las preferencias de color de los pinzones de Darwin (*Geospiza* spp. y *Cactospiza pallida*) y cucuves de Galápagos (*Nesomimus parvulus*) fueron determinadas a través del ofrecimiento de comida teñida de rojo, azul, verde y amarillo. Todas las aves muestreadas con excepción de los pinzones carpinteros mostraron un patrón común: evitaron consumir los ítems azules y prefirieron los rojos. No se encontraron diferencias significativas entre jóvenes y adultos de todas las especies de aves muestreadas. Este resultado sugiere que el azul es un color que puede reducir el consumo accidental de veneno durante las campañas de erradicación de ratas en diferentes islas de Galápagos debido a que es el menos preferido por estas aves. Conocer las preferencias de color de aves nativas es muy útil al momento de diseñar programas exitosos de erradicación de roedores que incrementen el número de roedores muertos pero que reduzcan al máximo el número de especies no objetivos muertas por envenenamiento.

## Abstract

The rodent eradications using raticides are a real conservation tool but they represent a high risk of accidental poisoning for non-target species, especially native birds. One way to reduce the number of bird deaths is by identifying the characteristics (color, odor or size) that they find unattractive and incorporate them to the poison used during the eradication programs. The color preferences of Darwin's finches (*Geospiza* spp. and *Cactospiza pallida*) and Galápagos Mockingbirds (*Nesomimus parvulus*) were determined by offering red, yellow, green and blue dyed food. All sampled birds, except wood-pecker finches showed a common pattern: they avoided blue items and preferred the red ones. There weren't significant differences between young and adult birds in all the species. This result suggests that blue is a color that can reduce the accidental consumption of poison during the rodent eradication campaigns in Galápagos since it is the least preferred color for these birds. Knowing the color preferences of native birds is very useful in designing successful rodent eradication programs maximizing the number of rats that are killed by the poison and reducing at the minimum level the number of deaths of non-target species, such as birds.

## Tabla de Contenido

<i>Dedicatoria</i> .....	v
<i>Agradecimientos</i> .....	vi
<i>Resumen</i> .....	vii
<i>Abstract</i> .....	viii
<i>Tabla de Contenido</i> .....	ix
<i>Introducción</i> .....	1
<i>Revisión de Literatura</i> .....	4
Especies invasivas .....	4
Programas de erradicación .....	8
Especies no objetivo .....	12
Las aves como especies no objetivo .....	14
Galápagos .....	16
La presente investigación .....	21
<i>Metodología</i> .....	24
Área de estudio.....	24
Sitios específicos para experimentos con Pinzones de Darwin .....	24
Punta Estrada .....	25
Aviarios de la Fundación Charles Darwin .....	25
Sitios específicos para experimentos con Cucuves de Galápagos .....	26
Alrededores de las oficinas de la Fundación Charles Darwin (FCCD) y de las del Parque Nacional	
Galápagos (PNG).....	26
Camino a Tortuga Bay .....	26
Sujetos de estudio.....	28
Metodología utilizada .....	31
Pruebas con los pinzones de tierra en Punta Estrada .....	31
Pruebas con los pinzones carpinteros en los aviarios de la FCD .....	37
Pruebas con los Cucuves de Galápagos .....	39
<i>Resultados</i> .....	42
Pinzones de Punta Estrada.....	42
Primer experimento: Presentación individual de los diferentes colores de arroz.....	42
Segundo experimento: presentación simultánea de los diferentes colores de arroz.....	46
Pinzones carpinteros.....	47
Cucuves.....	48
<i>Discusión</i> .....	50
Pinzones de tierra de Punta Estrada.....	51
Pinzones carpinteros.....	53

Cucuves de Galápagos .....	54
<i>Conclusiones</i> .....	56
<i>Recomendaciones</i> .....	59
<i>Bibliografía</i> .....	62
<i>Anexos</i> .....	65
Tabla 1. Nombres comunes y científicos de las aves muestreadas durante los experimentos realizados en Punta Estrada .....	65
Tabla 2. Número de individuos de cada uno de las especies y clases de edad muestreados durante los experimentos con los cuatro colores de granos de arroz. ....	65
Tabla 3. Valores p de la prueba Wilcoxon que compara índices de consumo de arroz teñido y arroz natural .....	66
Tabla 4. Valores Mann-Withney que comparan los índices de consumo de los cuatro colores de arroz analizados .....	66
Tabla 5. Número de pinzones focales que respondieron a la presentación de dos tipos de arroz .....	66
Tabla 6. Número de individuos focales que picotearon en los diferentes colores de arroz presentados .....	67
Tabla 7. Distribución de los pinzones focales muestreados de acuerdo al porcentaje de picoteos hechos en los distintos colores ofrecidos.....	67
Tabla 8. Valores Mann-Withney tras comparar los índices de consumo de los cuatro colores de arroz presentados simultáneamente (resaltados en amarillo están los valores no significativos) .....	67
Tabla 9. Comparación del número de gusanos consumidos y no consumidos entre los colores ofrecidos y su control .....	68
Tabla 10. Consumo de uvas por cucuves adultos y juveniles.....	68
Figura 1. Aves muestreados durante la investigación .....	70
Figura 2. Pinzones de Darwin durante el primer experimento en Punta Estrada (se les ofreció arroz blanco y un solo color de arroz teñido) .....	71
Figura 3. Pinzones de Darwin durante el segundo experimento en Punta Estrada (se les ofreció arroz blanco y los cuatro colores de arroz teñido simultáneamente) .....	71
Figura 4. Pinzón carpintero (Cactospiza pallida) mantenido en cautiverio junto a los gusanos teñidos utilizados durante los experimentos. ....	72
Figura 5. Cucuve (Nesomimus parvulus) durante el experimento con las uvas teñidas .....	72
Figura 6. Diferencias en el índice de consumo de los cuatro colores de arroz analizados cuando fueron presentados individualmente. Los puntos azules indican el rango de variación de los índices de consumo. ....	74
Figura 7. Distribución de los individuos de acuerdo al porcentaje de picoteos hechos en los diferentes colores presentados .....	74
Figura 8. Tendencias de picoteos de los pinzones muestreados en cada uno de los cuatro colores ofrecidos durante los cuatro días de experimentación.....	75

<b>Figura 9. Diferencias en el índice de consumo de los cuatro colores de arroz cuando fueron presentados simultáneamente. Los puntos azules indican rangos de variación de los índices de consumo de arroz teñido.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 10. Porcentaje de gusanos teñidos y controles consumidos o no de acuerdo con el número total de gusanos presentados .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 11. Descripción del comportamiento de cada uno de los pinzones carpinteros muestreados.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 12. Proporción de uvas teñidas consumidas y dejadas por los cucuves muestreados .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 13. Proporción de uvas teñidas consumidas por cucuves adultos y juveniles .....</b>	<b>79</b>

## Introducción

Los roedores como la rata negra (*Rattus rattus*) y la rata noruega (*Rattus norvegicus*), son la mayor amenaza a la biodiversidad insular ya que se los considera como los responsables de la mayoría de declinaciones o extinciones de muchas especies (Howald et al. 2007). El principal efecto negativo de las ratas es la depredación. Se las ha visto comiendo huevos, pichones e incluso adultos de un amplio rango de aves en diversas partes del mundo (Empson y Miskelly 1999, Jones et al. 2008) También comen lagartijas, invertebrados y una diversa gama de flores, frutas y plántulas (Empson y Miskelly 1999).

Estos efectos adversos de las ratas en plantas y animales nativos, así como en sus hábitats son más visibles en las islas debido a dos factores: las particularidades biológicas y ecológicas de la rata y las características de los ecosistemas insulares (Wittmer et al. 2007). Por un lado los roedores son especies invasoras altamente competitivas y eficientes debido a que son pequeños, generalistas, adaptables a nuevos ambientes y tienen tasas de reproducción altas (Wittmer et al. 2007). Por el otro lado, los ecosistemas isleños son más susceptibles a los daños ocasionados por los roedores invasores debido a que la flora y fauna de las islas han evolucionado sin la presión de depredación ni de herbivoría de estos mamíferos (Wittmer et al. 2007).

El archipiélago de Galápagos al ser un ecosistema insular de origen volcánico también se encuentra altamente amenazado por la introducción de roedores. La rata negra (*Rattus rattus*) ha impactado enormemente en las poblaciones de roedores endémicos de las islas, además ha provocado un fuerte impacto en las poblaciones de aves que anidan

en el suelo como los petreles (*Pterodroma phaeopygia*), ha afectado a las poblaciones del pinzón de manglar (*Camarhynchus heliobates*) y de tortugas gigantes (Fessl 2009). Por cerca de cien años, la rata negra ha matado todas las tortugas recién nacidas de la isla Pinzón dejando una población en proceso de envejecimiento (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007).

Como una medida vital para buscar la rehabilitación de los ecosistemas de Galápagos que han sido alterados por la presencia de roedores introducidos, la Fundación Charles Darwin y el Parque Nacional Galápagos han iniciado programas de erradicación de ratas en varias islas inhabitadas así como en pequeños islotes. La próxima meta es la restauración de la isla Pinzón y de Rábida. Este proyecto abarca numerosas actividades, entre ellas, la erradicación de la rata negra (*Rattus rattus*) y de la rata noruega (*Rattus norvegicus*) que tanto daño ha hecho a la biota de estas islas.

Esta erradicación se hará a través de dos dispersiones aéreas del veneno Brodifacoum, un raticida anticoagulante de segunda generación que se caracteriza por matar a los roedores con una sola dosis ya que se acumula en el hígado impidiendo que se sinteticen algunos factores que promueven la coagulación sanguínea (Eason y Spurr 1995). Un problema del uso de este tipo de erradicación es la potencial muerte de especies endémicas y nativas del lugar ya sea por envenenamiento directo, al comerse el veneno, o por envenenamiento secundario, al comerse presas que consumieron el raticida (Tershy y Breese 1994, Howald et al. 2007).

Una manera de evitar este envenenamiento accidental es hacer pruebas que permitan escoger una carnada y forma de presentación que sea atractiva para las ratas pero que

minimice el potencial envenenamiento de especies no objetivo (Tershy y Breese 1994). Por ejemplo, la coloración del veneno puede reducir el consumo de aves y lagartijas quienes responden de diferente manera a los colores pero no afecta a las ratas ya que estas no poseen visión en colores (Tershy y Breese 1994, Hartley et al. 1999). Este es el aporte de la presente investigación que busca determinar la preferencia de color que tienen algunas especies de pinzones de Darwin, especialmente los terrestres y los cucuves de Galápagos para formular la presentación del veneno que lo haga menos atractivo al consumo de estos animales.

## Revisión de Literatura

### **Especies invasivas**

Las especies introducidas o exóticas son aquellos organismos que han sido accidental o deliberadamente transportados por algún tipo de actividad humana a lugares fuera de su rango de vida natural (Harris 2009). Debido a que una especie introducida encuentra a su arribo condiciones ambientales y ecológicas muy favorables (temperatura, humedad, luz, disponibilidad de nutrientes, abundancia de presas, ausencia de competidores y depredadores, etc.) logra establecerse, desarrollarse y reproducirse exitosamente, lo que incrementa el riesgo de que se convierta en una especie altamente invasiva (Vié et al. 2009).

Las especies invasivas, luego de la alteración y destrucción de hábitats, son la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial (Vié et al. 2009). Éstas pertenecen a todos los grupos taxonómicos y han invadido la mayoría de ecosistemas de la Tierra, amenazando así la biodiversidad nativa, el funcionamiento normal de los sistemas ecológicos, la salud de plantas y animales, y la economía humana (Myers et al. 2000, Vié et al. 2009). Sin embargo, estos efectos negativos causados por las especies invasoras, especialmente mamíferos, son más evidentes en los ecosistemas insulares (Howald et al. 2007, Towns 2009).

Los roedores invasores han sido los causantes de la mayoría de extinciones de especies insulares (Howald et al. 2007, Towns 2009). El principal efecto negativo de los roedores es la depredación. Se los ha visto comiendo huevos, pichones e incluso adultos de un amplio rango de aves en diversas partes del mundo (Empson y Miskelly

1999, Jones et al. 2008). También comen lagartijas, invertebrados y una diversa gama de flores, frutas y plántulas (Empson y Miskelly 1999). Estos efectos adversos de los roedores en plantas y animales nativos, así como en sus hábitats son más visibles en las islas debido a dos factores: las particularidades biológicas y ecológicas de los roedores y las características de los ecosistemas insulares (Wittmer et al. 2007). Por un lado los roedores son especies invasoras, competitivas y eficientes debido a que son pequeños, generalistas, altamente adaptables a nuevos ambientes y tienen tasas de reproducción altas (Wittmer et al. 2007). Por el otro lado, los ecosistemas isleños son más susceptibles a los daños ocasionados por los roedores invasores debido a que la flora y fauna de las islas han evolucionado sin la presión de depredación ni de herbivoría de estos mamíferos (Wittmer et al. 2007).

A pesar de que muchas especies de roedores han sido introducidos, la rata negra (*Rattus rattus*), la rata noruega (*Rattus norvegicus*), la rata del Pacífico (*Ratus exulans*) y el ratón común (*Mus musculus*) son cuatro especies que son considerados como un problema de conservación a nivel mundial (Townes 2009).

*R.rattus* ha causado o contribuido directamente a la extinción de muchas especies de aves, pequeños mamíferos, reptiles, invertebrados y plantas, especialmente en islas. Tiene una gran plasticidad ecológica ya que es omnívora y puede ocupar todo tipo de hábitats, pero prefiere los ambientes secos. Estas tienen hábitos terrestres y arborícolas pero evitan el contacto con el agua (Global Invasive Species Database 2006).

*R. norvegicus* está distribuida mundialmente y ha provocado la extinción o reducción de poblaciones de mamíferos, aves, reptiles e invertebrados también ha provocado la

pérdida de millones de dólares al año ya que destruye sembríos y sitios de almacenamiento de comida. Utiliza una amplia gama de hábitats pero muestra una marcada preferencia por humedales ya que es una buena nadadora. También es un agente dispersor de enfermedades (Global Invasive Species Database 2006).

*R. exulans* es un depredador de insectos, lagartijas y aves nativas, destructor de flora nativa y una peste agrícola. Se encuentra restringida al área del Océano Pacífico. Se adapta a una amplia gama de hábitats, sin embargo, requiere de fuentes adecuadas de comida y refugio; tiene hábitos terrestres y arborícolas pero no es una buena nadadora (Global Invasive Species Database 2006).

*Mus musculus* tiene una distribución mundial muy amplia ya que se encuentra en todos los lugares en donde el ser humano está presente. Se adapta fácilmente a los nuevos ambientes donde se reproduce con rapidez llegando a convertirse en una verdadera plaga. Está implicado en la extinción y reducción de muchas especies de los ecosistemas que han sido colonizados por estos roedores (Global Invasive Species Database 2006)

Los roedores invasivos ocurren en casi el 80% de las islas del mundo y continúan siendo introducidos en más islas (Howald et al. 2007). Las actividades antropogénicas (transporte, turismo, construcción, etc.), exacerbadas por el proceso de globalización han incrementado el riesgo de nuevas invasiones de roedores, por esta razón es indispensable crear y seguir protocolos que reduzcan las probabilidades de introducción de roedores, que den normas de manejo y control de estas especies y que indiquen

mecanismos de monitoreo y de evaluación para conocer la efectividad de los métodos de control (Zavaleta 2002).

En la siguiente sección se explican las iniciativas de erradicación, control y monitoreo que han sido puestas en marcha en diferentes partes del mundo para evitar que los roedores continúen siendo una fuerte amenaza contra la supervivencia de la flora y fauna de ecosistemas insulares.

## **Programas de erradicación**

En los años ochenta, Nueva Zelanda se convirtió en el pionero en el desarrollo de técnicas de erradicación de roedores y de otros mamíferos introducidos para reducir los efectos negativos que estos causan sobre los ecosistemas insulares (Donlan et al. 2003, Howald et al. 2007, Lavoie et al. 2007). Desde ese entonces, estas técnicas han ido mejorando y la erradicación de roedores se ha convertido en una poderosa herramienta de conservación que ayuda a la recuperación de las poblaciones insulares amenazadas, a la restauración de procesos ecosistémicos naturales como regeneración, competencia y depredación, e incrementa la probabilidad de éxito de reintroducción de especies nativas que eran incapaces de coexistir con roedores introducidos (Empson y Miskelly 1999, Howald et al. 2007). Además, con las nuevas técnicas ahora es posible erradicar roedores tanto en islas pequeñas y simples como en archipiélagos grandes y complejos (Donlan et al. 2003).

Según Howald et al. (2007) de las 387 campañas de erradicación puestas en marcha, el 90% han sido exitosas logrando la eliminación de roedores en al menos 284 islas en todo el mundo. La mayoría de erradicaciones se han dado en Australasia, especialmente en Nueva Zelanda. Una gran parte de las erradicaciones han sido en islas con un área menor de 100 ha. Las ratas negras han sido eliminadas de la mayoría de islas a nivel mundial seguidas de las ratas noruegas, ratas del Pacífico y ratones caseros. Ni las ratas negras ni los ratones han sido eliminados de islas mayores de 1000 ha mientras que las ratas noruegas fueron eliminadas de Campbell, Nueva Zelanda (11300 ha), la isla más grande en la que una campaña de erradicación ha sido exitosa (Howald et al. 2007).

Una variedad de métodos son usados alrededor del mundo para manejar, controlar y erradicar roedores. Estos métodos incluyen técnicas físicas (trampas, barreras, etc.), químicas (raticidas, fumigaciones) y biológicas (depredadores naturales, manipulación del hábitat, introducción de patógenos específicos, etc.). Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas por lo que un análisis específico del sitio debe ser hecho antes de aplicar cualquiera de ellos (Wittmer et al. 2007).

A pesar de esta variedad de métodos de eliminación y control de roedores, los raticidas han sido utilizados en la mayoría de erradicaciones exitosas (Howald et al. 2007, Wittmer et al. 2007). Estas sustancias químicas son una excelente herramienta que está más próxima a cumplir las condiciones ideales para una campaña de erradicación exitosa: 1) todos los individuos a eliminar deben estar expuestos al veneno, 2) los animales deben ser eliminados más rápido de lo que pueden reproducirse y 3) el riesgo de inmigración debe ser cero (Wittmer et al. 2007). Además, el cebo tóxico ideal a ser utilizado debe ser atractivo y letal para las especies objetivo con una sola dosis; debe permanecer en el ambiente el tiempo suficiente para que las especies objetivo sean expuestas a él pero corto para minimizar la exposición de especies no objetivo y no ser tóxico ni atractivo para especies no objetivo (Howald et al. 2007).

Un aspecto que también hay que tomar en cuenta para determinar el riesgo de exposición de las especies no objetivo (Withgott 2000) es el sistema de distribución del raticida. Este sistema depende de la topografía de la isla, del hábitat, de los recursos económicos y de la vulnerabilidad de las especies no objetivo (Howald et al. 2007). Los sistemas de distribución más utilizados son las estaciones de cebo, la dispersión manual y la dispersión aérea (Howald et al. 2007, Wittmer et al. 2007). A pesar de que las

estaciones de cebo constituyen en el método más utilizado desde hace muchos años, reducen el riesgo de muerte de especies no objetivo y reducen la cantidad de raticida puestos en el ambiente tienen el inconveniente de que requieren de mucho financiamiento para personal y logística; además, no pueden alcanzar áreas de barrancos y grandes pendientes (Howald et al. 2007, Wittmer et al. 2007). La dispersión manual mostró ser más efectiva en cuanto a costo y dio paso al desarrollo de la dispersión aérea (Donlan et al. 2003, Howald et al. 2007). Esta última está llegando a convertirse en el método más común de entrega del raticida ya que se puede abarcar más área y cubrir zonas inaccesibles, se reduce el tiempo de duración de las campañas de erradicación y hace que estas sean más efectivas (Howald et al. 2007).

El Brodifacoum es el anticoagulante de segunda generación más ampliamente utilizado en las campañas de erradicación (Donlan et al. 2003, Howald et al. 2007). Así como otros anticoagulantes, el Brodifacoum se caracteriza por matar a los roedores con una sola dosis ya que se acumula en el hígado impidiendo que se sintetizen algunos factores que promueven la coagulación sanguínea (Eason y Spurr 1995). Los anticoagulantes de primera generación son menos tóxicos y requieren múltiples aplicaciones en varios días para producir el efecto mortal en las especies objetivos. La toxicidad más alta y persistencia de los anticoagulantes de segunda generación es una ventaja en la erradicación de roedores, sin embargo, estas características hacen que las especies nativas y endémicas sean expuestas a un riesgo más alto de envenenamiento ya sea primario o directo al comerse el veneno o secundario o indirecto al consumir presas que probaron el raticida (Eason y Spurr 1995, Donlan et al. 2003, Howald et al. 2007).

Debido a que el uso de Brodifacoum es mundial, existe una gran preocupación por los efectos secundarios, especialmente, por las especies nativas y endémicas de los lugares en donde se realizan las dispersiones con este agente químico. Por esta razón, en muchos países como Estados Unidos se ha prohibido su uso y en otras naciones su aplicación se encuentra regulada (Howald et al. 2007) algo que los ejecutores de las campañas de erradicación tienen que tomar en cuenta.

Uno de los problemas a considerarse es el efecto del Brodifacoum en las especies no objetivo. En la siguiente sección se explica a más detalle sobre este importante aspecto de la erradicación de roedores introducidos.

## **Especies no objetivo**

Las especies no objetivo son aquellos individuos (mamíferos, aves reptiles, anfibios e invertebrados) que se encuentran expuestos a un potencial consumo primario (ingestión directa) o secundario (ingestión de un roedor u otra presa envenenada) del veneno utilizado durante las campañas de erradicación (Wittmer et al. 2007). El riesgo de afección a las especies no objetivos es analizado en función de la distribución, hábitos alimenticios y probabilidad de consumo primario o secundario del cebo tóxico (Eason y Spurr 1995). Además, hay que considerar la composición y propiedades toxicológicas del veneno, así como su método de distribución (Howald et al. 2007).

El impacto del envenenamiento accidental de vertebrados ha sido documentado en varios estudios realizados en Nueva Zelanda (Eason y Spurr 1995). Las especies más estudiadas han sido las aves e invertebrados terrestres (Hoare y Hare 2006). Este último grupo está siendo estudiado debido a que podría representar un alto riesgo de envenenamiento secundario para aves insectívoras (Eason y Spurr 1995, Hoare y Hare 2006). Por ejemplo, en Nueva Zelanda los efectos del Brodifacoum han sido documentados en 26 especies de aves, 4 de peces, 7 órdenes de invertebrados acuáticos, 11 de invertebrados terrestres y 2 especies de reptiles, sin embargo, las únicas muertes ocasionadas por el consumo de Brodifacoum fueron de aves (Hoare y Hare 2006).

A pesar de que el impacto por envenenamiento accidental de vertebrados ha sido documentado durante las campañas de erradicación, las especies afectadas se han recuperado rápidamente (Howald et al. 2007), programas de monitoreo post-erradicación han indicado que la toxina (Brodifacoum) no tiene efectos deletéreos en el éxito reproductivo (Orueta y Ramos 2001). Es importante mencionar que aunque las

especies no objetivo no sean afectadas por los cebos tóxicos, ellos pueden afectar el éxito del esfuerzo de erradicación a través del consumo de veneno puestos para los roedores o hacen que el tóxico ya no esté a disposición de los roedores ya que muchas veces los cebos son escondidos (Wittmer et al. 2007).

Adicionalmente al escoger el veneno correcto y dosificar al objetivo, planear las operaciones en una época adecuada (por ejemplo, cuando los reptiles están hibernando o cuando las aves marinas están fuera del área de reproducción) puede prevenir muertes innecesarias (Orueta y Ramos 2001). Además, hay que planificar estratégicamente acciones de mitigación para minimizar los efectos letales o subletales en la vida silvestre no objetivo (Howald et al. 2007).

En general los impactos a especies no objetivo durante las campañas de erradicación deben ser considerados en términos de los efectos a nivel de población, no en los efectos a nivel de individuo y en términos de un bienestar mayor que es logrado a través de una erradicación exitosa (Wittmer et al. 2007). Siempre habrá muertes accidentales, sin embargo, si medidas de precaución son tomadas, habrán menos y la población se recuperará fácilmente (Wittmer et al. 2007).

## **Las aves como especies no objetivo**

Debido a que se ha reportado que muchas especies de aves mueren durante la dispersión de veneno utilizado durante la erradicación de roedores introducidos existe una gran presión pública para que los químicos utilizados durante estos programas sean seguros para las aves nativas y endémicas del área (Hartley et al. 1999).

Las investigaciones se han enfocado en encontrar un tipo de veneno que logre repeler a las aves pero que siga siendo atractivo para los roedores a erradicar (Hartley et al. 2000). Se han propuesto dos métodos para lograr esta meta, uno es incorporar algún químico que repela a las aves y el otro es identificar algunas características del cebo, como color, tamaño y forma que logre repeler a las aves (Hartley et al. 2000). En Nueva Zelanda se ha observado que la adición de químicos repelentes ha afectado al consumo de las especies objetivo por lo que la efectividad de la erradicación fue reducida, en cambio al alterar el color y el tamaño del veneno ha disminuido el consumo de especies no objetivo pero no ha afectado la ingestión por parte de especies objetivos (Hartley et al. 2000). Según algunos estudios realizados se ha llegado a definir que el verde y el azul son excelentes colores que evitan que las aves consuman el cebo; y que el tamaño más adecuado es 16 mm (Hartley et al. 1999, Hartley et al. 2000, Wittmer et al. 2007).

Pero ¿qué aspecto de las aves ha sido tomado en cuenta para determinar que los colores son un mecanismo adecuado para evitar que estas consuman accidentalmente el veneno? Varios autores tras varios años de investigación han comprobado que las aves tienen una visión en color muy avanzada, incluso pueden captar ondas de luz

ultravioleta lo que les otorga otra panorámica del ambiente, una panorámica diferente a la del ser humano (Withgott 2000).

## Galápagos

El archipiélago de Galápagos se encuentra en el Océano Pacífico a 1000 kilómetros del Ecuador continental, está formado por 13 islas grandes, 5 islas pequeñas y 107 rocas (Grant 1999). Las Islas Galápagos constituyen el archipiélago oceánico mejor conservado a nivel mundial ya que mantiene intacta el 95% de su biodiversidad (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007). Además, son conocidas por sus programas exitosos de rehabilitación de especies amenazadas y sus programas efectivos de control y erradicación de especies invasoras (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007).

Desde el año de su descubrimiento en 1535, la introducción de especies exóticas empezó; primero fueron los balleneros y piratas quienes deliberada o accidentalmente introdujeron roedores, insectos y plantas y luego fueron los primeros colonos en los años 1800 que trajeron consigo ganado vacuno, porcino, equino, así como, otras plantas (Tye y Soria 2002). Desde ese entonces con el crecimiento de la población local, la alta tasa de inmigración y la intensificación del turismo, el número de plantas y animales introducidos se ha incrementado (Tye y Soria 2002).

Numerosos estudios han demostrado que los efectos de las especies introducidas son mucho más severos en islas debido a que las especies de animales y plantas insulares no tienen mecanismos de defensa ante la presión de depredación o herbivoría que ejercen las especies exóticas (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007, Wittmer et al. 2007). De los animales introducidos a Galápagos, los roedores constituyen una gran amenaza para la fauna y flora endémica del archipiélago ya que tres (*Rattus rattus*, *Rattus norvegicus* y *Mus musculus*) de las cuatro especies más

invasivas a nivel mundial se encuentran en las islas (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007).

La rata negra (*Rattus rattus*) fue introducida a inicios del siglo 17 en la Isla Santiago por bucaneros que frecuentaban las islas (Harper y Cabrera 2009, Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007). El ratón casero (*Mus musculus*) y la rata noruega (*Rattus norvegicus*) cuya introducción fue relativamente reciente, desde los años 80 han logrado establecerse en muchas islas del archipiélago donde comparten el territorio con la rata negra (Harper y Cabrera 2009).

Los roedores introducidos han logrado colonizar un poco más de la mitad de las islas con una superficie mayor que 1000 ha, es decir, 7 de las 13 islas más grandes y sólo el 38% de las islas e islotes satélites dentro de un rango de 2 Km. de las islas infestadas (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007). En la actualidad, la rata negra está presente en por lo menos 33 islas del archipiélago. La rata noruega fue recientemente descubierta en Rábida y se sospecha que ocurre en Isabela. Se sabe que el ratón casero existe en por lo menos 13 islas (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007).

La introducción y dispersión de las ratas negras están relacionadas con la pérdida de especies de ratas endémicas de Galápagos y han generado problemas a otras especies nativas y endémicas (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007). Las ratas son una peste tanto en el área del Parque Nacional Galápagos como en zonas urbanas; en los poblados y zonas agrícolas destruyen cultivos y comen los alimentos almacenados, además, constituyen un potencial foco de dispersión de

enfermedades para el humano y para el ganado (Key et al. 1994). En el Parque, las ratas toman los huevos y los pichones de aves marinas que anidan en el suelo como los petreles (*Pterodroma phaeopygia*), de otras aves como el pinzón del manglar (*Camarhynchus heliobates*) y de cucuves (*Nesomimus* spp.), y también depredan las tortugas gigantes e iguanas recién nacidas (Key et al. 1994, Grant et al. 2000, Fessl 2009).

También se las relaciona con la extinción de ratas almizcleras endémicas; de las 12 especies originales solo quedan 4. La rata almizclera *Nesoryzomys swarthi*, redescubierta en 1997 en un área relativamente pequeña en Santiago, es la única especie de rata endémica que ha podido coexistir con las ratas negras. Las otras especies (2 en Fernandina y 1 en Santa Fe) están presentes en islas en las que no hay roedores introducidos (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007).

Como una medida vital para buscar la rehabilitación de los ecosistemas de Galápagos que han sido alterados enormemente por la presencia de roedores introducidos, la Fundación Charles Darwin y el Parque Nacional Galápagos han iniciado el Proyecto Pinzón que consiste en la aplicación de programas de erradicación de ratas en varias islas inhabitadas así como en pequeños islotes. Estas dos instituciones se hallan en la capacidad de ejecutar este proyecto debido a que cuentan con la experiencia obtenida con la culminación exitosa del Proyecto Isabela, así como con el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten efectivizar este tipo de programas (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007).

El Proyecto Pinzón abarca numerosas actividades, entre ellas, la determinación de los tipos de roedores presentes en las islas y de su densidad poblacional, así como, la experimentación con el uso de cebos no tóxicos con especies no objetivo como tortugas, iguanas terrestres, lagartijas de lava, gavilanes, varias especies de pinzones y cucuves. Una vez realizadas estas acciones se procederá a la erradicación de la rata negra (*Rattus rattus*) y de la rata noruega (*Rattus norvegicus*) que tanto daño han hecho a la biota de estas islas (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007). Se ha logrado la erradicación de roedores en Seymour Norte y la próxima meta es la restauración de la isla Pinzón y de Rábida. También se pretende extender este proyecto a Floreana y Santiago y luego a islas habitadas más grandes como Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela (Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos 2007).

Antes de la dispersión aérea del veneno anticoagulante de segunda generación Brodifacoum en las islas planificadas, se tiene contemplado realizar un inventario de las especies nativas o endémicas que podrían ser afectadas durante la aplicación y encontrar los mecanismos para evitar que las muertes accidentales por envenenamiento alcancen un gran porcentaje. Una manera de evitar este envenenamiento accidental es hacer pruebas que permitan escoger una carnada y forma de presentación que sea atractiva para las ratas pero que minimice el potencial envenenamiento de especies no objetivo (Tershy y Breese 1994). Por ejemplo, la coloración del veneno puede reducir el consumo de aves y lagartijas quienes responden de diferente manera a los colores pero no afecta a las ratas ya que estas no poseen visión en colores (Tershy y Breese 1994, Hartley et al. 1999). Es en esta fase donde la presente investigación entra en acción ya que se pretende determinar la preferencia de color que tienen algunas especies de

pinzones de Darwin, especialmente los terrestres, y los cucuves de Galápagos para formular la presentación del veneno que lo haga menos atractivo al consumo de estos animales.

## **La presente investigación**

El presente estudio se encuentra enmarcado en el “Proyecto Pinzón: Restauración de los Ecosistemas de las Islas Galápagos mediante la Eliminación de Roedores Introducidos”, el cual es un proyecto que consta de varias fases en las que se incluyen actividades que buscan lograr la erradicación exitosa de las tres especies de roedores introducidos que están poniendo en peligro la biodiversidad de Galápagos.

Las fases del Proyecto Pinzón son: 1) Preparación, entrenamiento, investigación preliminar y monitoreo ecológico anterior a la operación, 2) Erradicación en Seymour Norte, Pinzón y Rábida y 3) Validación de las erradicaciones, monitoreo ecológico posterior a la operación y planificación para Santiago y Floreana. La primera fase contiene entre las principales actividades el perfeccionamiento de las capacidades operativas del Parque Nacional Galápagos y de la Fundación Charles Darwin, la determinación de la combinación veneno- carnada a usarse, la realización de pruebas con especies no objetivos así como la obtención de información necesaria para este plan y para las siguientes campañas de erradicación. Las dos siguientes fases utilizarán la información obtenida durante la primera fase. En la segunda fase se realizará la erradicación en Seymour Norte, Rábida y Pinzón mientras que en la tercera fase se instaurarán programas de monitoreo para evaluar la efectividad de la dispersión del veneno así como los efectos en la fauna y flora nativa tras la erradicación y con estos conocimientos aplicar, modificar o cambiar totalmente las técnicas ocupadas durante las primeras erradicaciones en Floreana, Santiago y sus islotes satélites.

La investigación planteada durante la primera fase es de mucha utilidad y permitirá llenar la brecha de conocimientos que se tiene sobre los efectos de la exposición directa

o indirecta de la fauna nativa y endémica al Brodifacoum, el veneno a utilizarse durante las erradicaciones previstas. Esta fase también ayudará a dilucidar posibles soluciones que reducirán el riesgo de envenenamiento de animales propios de Galápagos.

Como ya se mencionó en la sección de especies no objetivo, un mecanismo para evitar la muerte de especies no objetivos es conocer su presencia en las islas, así como su comportamiento alimenticio porque de esto depende la probabilidad de morir por consumo del veneno. Una gran preocupación en Galápagos es el efecto del Brodifacoum en aves (pinzones, cucuves, palomas y gaviñanes), reptiles (tortugas gigantes, iguanas terrestres y lagartijas de lava) e invertebrados por lo que se requiere este tipo de información así como conocer los mecanismos de reducción de riesgo de envenenamiento. Como se mencionó, en el caso de las aves, la determinación de un color y tamaño adecuado del veneno evita en gran medida que estos animales consuman la sustancia tóxica (Hartley et al. 2000).

Precisamente es en esta parte del Proyecto Pinzón que la presente investigación entra en marcha ya que tiene como objetivo determinar las preferencias de color de los pinzones de Darwin (*Geospiza* spp. y *Cactospiza pallida*) y de los cucuves de Galápagos (*Nesomimus parvulus*). Para cumplir con este objetivo durante la investigación se contestaron las siguientes preguntas:

- ¿Hay consumo diferencial de la comida de distintos colores?
- ¿Cuáles son los colores más consumidos por pinzones y cucuves?
- ¿Cuáles son los colores menos consumidos por pinzones y cucuves?
- ¿Estas preferencias de color en pinzones varían a lo largo del tiempo?
- ¿Hay diferencias en las preferencias entre las especies de pinzones muestreadas?

- ¿Las preferencias de color en el alimento varían de acuerdo a la edad del ave?

## Metodología

### Área de estudio

Las pruebas de preferencia de color se hicieron en la isla de Santa Cruz. Unas pruebas fueron realizadas en Punta Estrada con pinzones silvestres; las pruebas con los pinzones carpinteros se hicieron en los aviarios de la Fundación Charles Darwin. Los experimentos con los cucuves fueron hechos en los alrededores de la Fundación Charles Darwin, de las oficinas del Parque Nacional Galápagos y en el camino a Tortuga Bay.

Estos sitios comparten características similares ya que se encuentran en la zona árida (Wiggins y Porter 1971). Esta es la zona más ampliamente distribuida en el archipiélago, con frecuencia se la subdivide en una zona inferior o de matorral y otra superior o de bosques, esta última está ausente en las islas más pequeñas. Se encuentra mayormente habitada por plantas xerofíticas que se han adaptado a una baja disponibilidad de agua, altas tasas de evaporación por la radiación solar y por los fuertes vientos y a un suelo poco profundo. Algunos representantes importantes de esta zona son los cactus de los géneros *Opuntia*, *Jasminocereus* y *Brachycereus*, también se puede encontrar *Acacia* spp., *Cordia* spp., *Croton scouler* y *Waltheria ovata* (Wiggins y Porter 1971).

A continuación se describen los sitios específicos donde fueron realizadas las pruebas de preferencia con los pinzones y con los cucuves, respectivamente.

### Sitios específicos para experimentos con Pinzones de Darwin

## **Punta Estrada**

El sitio específico donde se hicieron las pruebas de preferencia fue el patio de la casa de la señora Jaqueline de Roy situada al frente de la Playa de los Alemanes, en Punta Estrada. En este lugar encontramos varias plantas exóticas que son cultivadas por la dueña de casa así como plantas típicas de la zona árida de Galápagos. Se eligió este sitio debido a que la Señora de Roy por varios años se ha dedicado a alimentar a pinzones de la zona con arroz.

Según observaciones personales de la señora de Roy, a su casa llegan distintas especies de pinzón: principalmente terrestres (*Geospiza* spp.) y unos pocos arbóreos (*Camarynchus* spp.) El hecho de que los pájaros ya estén acostumbrados a comer un alimento que no encuentran normalmente en la naturaleza nos permitió utilizar arroz natural y teñido en la realización de estas pruebas.

## **Aviarios de la Fundación Charles Darwin**

Los aviarios se encuentran en la parte posterior de las oficinas de la Fundación Charles Darwin cerca del barranco. Las jaulas se hallan rodeadas de vegetación típica de la zona árida de Galápagos, además, está limitadas por el camino que conduce al Barranco. Ocupan un área aproximada de 100 m<sup>2</sup> divididos en 6 jaulas de 5x10 m y una de 10x20 m separadas por un corredor central.

El objetivo de la construcción de estos aviarios fue el desarrollo de un protocolo de manejo en cautiverio del pinzón carpintero y cucuves de Galápagos para de esta manera aplicar los conocimientos adquiridos en el eventual caso de iniciar un programa de

reproducción en cautiverio del pinzón de manglar y el cucuve de Floreana, dos especies endémicas en peligro crítico de extinción (Fessl 2009).

Fue en este lugar donde se realizaron los experimentos con cuatro pinzones carpinteros (*Cactospiza pallida*). Los nombres de las aves eran: Rosa Blue, Rosa Pink, Red Green y Purple Green. Cada una de estas aves ocupaba una jaula individual por lo que su identificación fue fácil. Este hecho facilitó la realización de las pruebas ya que se sabía con precisión qué individuo fue observado.

## **Sitios específicos para experimentos con Cucuves de Galápagos**

### **Alrededores de las oficinas de la Fundación Charles Darwin (FCCD) y de las del Parque Nacional Galápagos (PNG)**

Para realizar las pruebas de preferencia con los cucuves se utilizaron los senderos internos de las instalaciones de ambas instituciones. La vegetación que rodeaba a estos senderos es propia de la zona árida pero con mayor presencia de cactus (*Opuntia echios*), muyuyos (*Cordia lutea*) y acacias (*Acacia* spp.). En la FCD se utilizó el sendero que conduce al barranco, dos senderos internos del área del barranco y el sendero que lleva a la oficina de Invertebrados junto al corral de las iguanas terrestres. En el PNG se utilizó el redondel y el sendero interno que conduce a las oficinas de control y erradicación, a informática y a educación. Además, se utilizó el camino que conduce a las oficinas del PNG y de la FCD.

### **Camino a Tortuga Bay**

El sendero a Tortuga Bay, una de las playas más conocidas de Santa Cruz, tiene una longitud de 2.0 Km. y un ancho de 1m. En esta zona se puede encontrar una mayor cantidad de vegetación propia de la zona árida.

## Sujetos de estudio

Durante la presente investigación, los sujetos de estudio fueron individuos de seis especies de pinzones de Darwin (*Geospiza* spp., *Camarhynchus* spp., *Cactospiza pallida*) (Tabla 1) y del cucuve de Galápagos (*Nesomimus parvulus*). Se incluyeron a estas aves debido a que sus rangos de distribución, sus hábitos alimenticios y algunos comportamientos las ponen en riesgo de consumir accidentalmente el veneno utilizado durante las campañas de erradicación de roedores.

El rango de distribución de los pinzones terrestres está principalmente restringido a las zonas áridas de la mayoría de las islas del archipiélago (Grant, 1999). En cuanto a los pinzones arbóreos, estos se encuentran con mayor frecuencia en las zonas de bosque húmedo pero también se les encuentra en la zona árida donde hay plantas deciduas y cactus aunque en este último hábitat su presencia es poco común (Tebich et al., 2002).

El cucuve de Galápagos se encuentra en un amplio rango de hábitats incluyendo manglares, zona litoral y árida y bosques de *Bursera*. Este hecho es importante porque durante las primeras fases de la campaña de erradicación de roedores se va a dispersar el veneno en islas que principalmente están conformadas por esta zona de vegetación.

Los pinzones terrestres (*Geospiza* spp.) se alimentan principalmente en el suelo y son generalmente granívoros pero también consumen artrópodos y los frutos del cactus *Opuntia* (Grant 1999). Los pinzones grandes de tierra son capaces de alimentarse de semillas más duras y grandes con respecto a las que son seleccionadas por los otros pinzones terrestres, el pinzón pequeño es más eficiente seleccionado semillas pequeñas

y suaves, en cambio, el pinzón mediano de tierra es más generalista ya que es capaz de seleccionar semillas de varios tamaños y de diferentes grados de dureza (Grant 1999). Los pinzones arbóreos son principalmente insectívoros, sus presas son localizadas en hojas y tallos, así como, debajo de la corteza. Sin embargo, en época seca se alimentan de frutas, semillas y néctar (Tebbich et al., 2004).

Como se mencionó en la sección Área de estudio, las pruebas realizadas en Punta Estrada incluyeron aproximadamente a 50 o 70 individuos silvestres de tres especies: pinzones pequeños de tierra (*Geospiza fulliginosa*), medianos de tierra (*Geospiza fortis*) y pinzones de cactus (*Geospiza scandens*) (Figura 1). También se muestreó a pocos pinzones pequeños de árbol (*Camarhynchus parvulus*) y grandes de tierra (*Geospiza magnirostris*) (Figura 1). En cuanto a las pruebas realizadas en los aviarios de la Fundación Charles Darwin se realizaron los experimentos con cuatro pinzones carpinteros (*Cactospiza pallida*). Estas aves permanecieron en cautiverio por más de un año, cada uno en una jaula independiente.

El cucuve de Galápagos (*Nesomimus parvulus*) (Figura 1) tiene un rango de distribución extenso. Vive en todas las principales islas, con excepción de las islas e islotes cercanos en donde habitan las otras tres especies de cucuves (Española, Floreana y San Cristóbal). Es muy común observarlo caminando en búsqueda de alimento en el suelo. Es omnívoro y su dieta incluye artrópodos y néctar de cactus y de otras plantas. Grant y Grant (1979) mencionan que el 93% del tiempo de observación (5500s), un cucuve pasó en el suelo buscando artrópodos, mientras que el tiempo restante pasó en las flores de cactus. Además, los cucuves han sido vistos comiendo pequeños vertebrados como

lagartijas de lava, huevos de aves marinas, pichones de pinzones e incluso, carroña (Grant y Grant 1979).

Como se mencionó anteriormente los cucuves son aves omnívoras que pasan gran parte de su tiempo buscando alimento en el suelo. Además, hay que incluir el hecho de que los juveniles muestran un comportamiento exploratorio mayor que los adultos (Grant et al. 2000). Estas características hacen del cucuve un ave vulnerable a comer accidentalmente el veneno.

Para la realización de los experimentos de la preferencia de color en el alimento se observaron 30 cucuves silvestres (19 adultos y 11 juveniles) en los sitios que fueron descritos con anterioridad en la sección Área de estudio.

## **Metodología utilizada**

Se realizaron cinco experimentos distintos con el objetivo de conocer las preferencias de colores de las aves muestreadas, dos con los pinzones de Punta Estrada, los otros dos con los pinzones carpinteros de los aviarios de la Fundación Charles Darwin y el último con los cucuves. Para la realización de los primeros experimentos se utilizó arroz, para los dos siguientes se usaron gusanos secos y para el último se utilizaron pedazos de uva; todos ellos fueron teñidos con colorantes de comida sin sabor.

### **Pruebas con los pinzones de tierra en Punta Estrada**

#### **Tinción de arroz**

Para la tinción del arroz se utilizó colorante de comida sin sabor (La Reposterita, Levapan ®). En un recipiente se pusieron 200 ml de agua, 40 gotas de colorante y 210 g de arroz. Se esperó 15 minutos, se quitó el exceso de agua del arroz y se lo colocó en una tela en un lugar con bastante sol para lograr que el arroz se seque. Finalmente, el arroz teñido se puso en un recipiente para ser transportado al sitio del experimento.

#### **Descripción de los experimentos**

Se realizaron dos tipos de experimentos en la terraza de la casa de la señora Jacqueline de Roy en Punta Estrada. El primero consistió en ofrecerles a los pinzones por cuatro días seguidos una mezcla de arroz teñido de un solo color con arroz sin teñir (Figura 2). Se siguió el siguiente orden: primero el arroz rojo, luego el azul, el verde y finalmente el

amarillo. Este experimento fue llevado a cabo entre el 20 de abril y el 23 de mayo de 2009.

El segundo experimento consistió en ofrecerles a los pinzones los cuatro colores de arroz al mismo tiempo junto con el arroz sin teñir (Figura 3). Este experimento fue realizado entre el 7 y el 10 de julio de 2009.

Antes de darles el alimento, se barrió la terraza y en el primer experimento se pesaron 104 g de arroz blanco y 104 g de arroz teñido de un solo color que se mezclaron y colocaron aleatoriamente en la terraza para que las aves pudieran comerlos. Para el segundo experimento se les ofreció a los pinzones 40 g de cada color de arroz y 40 g de arroz sin teñir pero sin mezclarlos.

Luego de 30 minutos se retiró el arroz sobrante, se eliminó el polvo o cualquier otro residuo, en caso de haber arroz blanco y teñido se los separó y finalmente se pesó para saber la cantidad de cada tipo de arroz que fue consumida por las aves. Este procedimiento se repitió dos veces al día: 7 de la mañana y 3 de la tarde por un período de cuatro días utilizando un color distinto en cada periodo. Se eligieron estas horas del día porque las aves se encuentran acostumbradas a este horario de alimentación hace mucho tiempo.

En el primer experimento se esperó cuatro días para empezar con un nuevo color. Durante este tiempo, las aves fueron nuevamente alimentadas sólo con arroz blanco para minimizar la habituación de las aves a nuevos colores de alimento.

La información que fue recolectada de estos experimentos fue el peso inicial de arroz sin teñir, el peso del teñido y el peso del arroz sobrante. Luego de separar los dos colores de arroz se anotó el peso sobrante del arroz sin teñir y el del arroz teñido y cualquier observación importante hecha ese día.

### **Observaciones focales**

Para complementar la información recolectada durante los experimentos anteriores se realizaron observaciones focales de las aves que se acercaron a comer los dos tipos de arroz durante dos minutos. Las fechas en las que fueron realizadas estas observaciones coinciden con las de los experimentos, con excepción de las observaciones focales con el arroz rojo. Estas últimas fueron realizadas del 2 al 5 de junio de 2009 debido a que luego que se realizó el primer experimento con el arroz teñido de rojo se decidió incluir la toma de datos resultantes de las observaciones focales.

Para elegir al individuo a ser observado, se escogió un número al azar, se enumeró a las aves presentes en el sitio de muestreo y se empezó a observar al ave cuyo número asignado coincidía con el número aleatorio escogido durante dos minutos. La información que se recolectó durante cada observación focal fue la especie de pinzón observada, la edad (adulto o juvenil), el número de picoteos en el arroz blanco, el número de picoteos en el arroz de color y cualquier otra actividad que realizaba el ave durante el tiempo de observación. Se realizaron 20 observaciones focales durante un día de experimentación (10 en la mañana y 10 en la tarde) tratando de obtener un muestreo uniforme de las diferentes especies de aves muestreadas y de las dos clases de

edad de las aves, es decir, 5 observaciones de adultos y 5 de juveniles. Los animales focales no fueron marcados por lo que no fue posible su identificación individual.

## **Análisis estadísticos**

### **Identificación de tendencias de consumo y preferencias de color**

Con la información recolectada se procedió a calcular la cantidad de arroz consumida (Q) para cada color de la siguiente manera:

$$Q \text{ arroz teñido consumida} = Q \text{ arroz teñido colocado} - Q \text{ arroz teñido sobrante}$$

Luego se calculó el índice de consumo para los cuatro días de experimento con cada color:

$$\text{Índice de consumo} = \frac{Q \text{ arroz teñido consumida}}{Q \text{ total arroz consumida}}$$

$$Q \text{ total arroz consumida} = \sum(Q \text{ arroz teñido consumida} + Q \text{ arroz blanco consumida})$$

Antes de realizar el análisis de los índices de consumo, se retiró del juego de datos los valores correspondientes al primer día de experimentación con el arroz teñido de rojo que también resultó ser la primera observación de todo el experimento. Esta decisión se tomó ya que este valor fue considerado como extremo y sesgaba la tendencia de todo el conjunto de datos.

La siguiente parte del análisis fue determinar si hubo diferencias significativas entre los índices de consumo del arroz teñido con los del arroz sin teñir. Para esto, se realizó una

prueba Wilcoxon, con un nivel de significancia de 0.05 en la que se comparó individualmente los cuatro índices de consumo de arroz teñido con el respectivo índice de consumo de arroz sin teñir.

También se hizo una prueba de Friedman para saber si hubo diferencias significativas entre los distintos colores durante los cuatro días de experimentación. El grado de significancia fue de 0.05. Se utilizó esta prueba debido a que asume que los mismos individuos consumieron los diferentes colores de arroz. Se tomó como cierta esta suposición con base en lo que se conoce sobre el comportamiento de estas especies, aunque los pinzones que se acercaron al área de experimentación no poseían ninguna marca de identificación.

### **Análisis de las observaciones focales**

En total se hicieron 160 observaciones focales, 40 para cada color de arroz con una duración global de 320 minutos. Estas observaciones incluyeron cinco especies de pinzones y dos clases de edad: adultos y juveniles. Debido a que se muestreó pocos individuos de dos especies: pinzón de árbol y pinzón grande de tierra se procedió a removerlos del análisis (Tabla 2). Además se removió de este análisis a tres pinzones medianos que se acercaron al área de muestreo pero no picotearon en ninguno de los dos tipos de arroz.

Una vez removidos los datos de las especies de pinzones antes mencionadas se procedió a calcular el promedio de picoteos hechos en cada color en relación con el número de picoteos en el arroz sin teñir y el promedio de picoteos realizados únicamente en los

arroz de color. Luego se transformó el número de picoteos hechos en el arroz teñido a porcentajes de la siguiente manera:

$$\% \text{ de picoteos arroz teñido} = \frac{\text{Número de picoteos en arroz teñido} \times 100}{\text{Número total de picoteos}}$$

$$\text{Número total de picoteos} = (\text{picoteos en arroz blanco}) + (\text{picoteos en arroz color})$$

Luego se tomó el porcentaje de picoteos en el arroz teñido y se procedió a agrupar a los individuos observados de acuerdo al porcentaje de picoteos hechos en el arroz de color y en el blanco en dos categorías (aves neofóbicas y aves neofílicas)

### **Aves neofóbicas vs. aves neofílicas**

Si un ave picotea en el arroz de color es muy probable que picotee en el veneno durante las campañas de erradicación, en cambio, si esta ave no se acerca a un color podría significar que no se va a acercarse al veneno. Por esta razón se clasificaron las observaciones focales en dos grupos: a) individuos que no picotearon en el arroz de color-aves neofóbicas y b) individuos que picotearon en el arroz de color- aves neofílicas. La primera categoría estuvo comprendida por individuos en los que el 0% de sus picoteos fueron hechos en el arroz de color; la segunda categoría la conformaron las aves en las que el 1 al 100% de sus picoteos fueron en el arroz teñido. Con esta categorización se pretendió conocer qué color implicaría por un lado menor riesgo de consumo y por el otro qué color aumentaría las muertes accidentales por envenenamiento. Esta categorización se hizo para los cuatro colores, luego se aplicó un análisis Ji cuadrado ( $\chi^2$ ) para saber si hay alguna relación entre el hecho de picotear o no picotear y el color del grano de arroz.

A continuación se realizó una comparación entre el número de picoteos en los diferentes colores entre las diferentes especies observadas y lo mismo para las clases de edad, para esto se aplicó un análisis Ji cuadrado ( $\chi^2$ ) para los cuatro colores.

### **Evolución del consumo de aves neofílicas a lo largo del tiempo**

Con el porcentaje de picoteos en el arroz teñido para cada una de las observaciones focales se procedió a agrupar a los datos en tres categorías (0-25%; 25-75% y 75-100%), las cuales indican cuántos individuos picotearon en determinado porcentaje en el arroz teñido. También se utilizó esta categorización para realizar un análisis preliminar y cualitativo de la evolución del consumo de arroz teñido de un determinado color a lo largo del tiempo.

Para el análisis de las diferencias entre las distintas categorías se utilizaron tablas de contingencia y el análisis Ji cuadrado ( $\chi^2$ ).

### **Pruebas con los pinzones carpinteros en los aviarios de la FCD**

El procedimiento para estos pinzones fue el siguiente:

#### **Tinción de gusanos**

Se utilizaron los gusanos secos (Fluker's freeze-dried mealworms) que sirven como alimento para anfibios y aves, comercializados en las tiendas de mascotas. Los gusanos fueron sumergidos en un recipiente que contenía 50 ml de agua con 20 gotas de colorante de comida (La Reposterita, Levapan ®) durante una noche. Luego de este

período se los sacó del recipiente y se los secó un poco. Estos gusanos no debían estar totalmente secos debido a que los pinzones no los comen.

### **Colocación de gusanos en las jaulas**

En cada jaula se colocaron tres gusanos teñidos del mismo color y uno sin teñir que sirvió como control del experimento, el tamaño de los gusanos no varió significativamente y fue de aproximadamente 2.5 cm (Figura 4). Este procedimiento se repitió durante cuatro días y antes de empezar un nuevo bloque de experimentos se dejaron pasar tres días, este experimento se realizó entre el 5 de mayo hasta el 6 de junio de 2009. Otro experimento que se realizó fue la colocación de cinco gusanos (control, amarillo, rojo, verde y azul) al mismo tiempo, este experimento se realizó del 15 al 18 de junio de 2009.

Los gusanos fueron puestos a las 12.00 del mediodía debido a que a esta hora los pinzones ya se muestran inquietos por la comida. Luego, a las 14.00, hora usual de la alimentación de la tarde se registró cuántos gusanos fueron comidos y cuántos fueron dejados en el sitio original.

### **Análisis descriptivos y estadísticos**

Debido a que la muestra fue pequeña se procedió a describir el comportamiento de cada uno de los pinzones cuando fueron presentados los distintos colores de gusanos.

Luego se analizó si había alguna relación entre el color y el número de gusanos consumidos o no consumidos utilizando el análisis Ji cuadrado ( $\chi^2$ ). También se utilizó

este análisis para establecer una relación entre el color, el número de gusanos consumidos y no consumidos y cada uno de los cuatro pinzones carpinteros observados.

### **Pruebas con los Cucuves de Galápagos**

La metodología utilizada con los cucuves fue la siguiente:

#### **Tinción de alimento**

El alimento que se utilizó para este experimento fueron uvas rojas peladas. Estas fueron cortadas en pedazos de igual tamaño y se las dejó por 30 minutos en los recipientes con colorante para comida (La Reposterita, Levapan ®). Los colores que se utilizaron fueron amarillo, rojo, azul y verde.

#### **Presentación de la comida**

Una vez que las uvas fueron teñidas se las colocó por unos cuantos segundos en un pedazo de papel toalla para que el exceso de colorante sea absorbido y no manche el plato en el que fueron colocadas las uvas.

Se pusieron aleatoriamente cinco pedazos de uva de cada color en un plato amarillo de plástico. Se eligió este color porque en pruebas preliminares se vio que los cucuves son atraídos fuertemente por este color. Además se pusieron cinco pedazos de uva sin teñir como controles (estos pedazos presentaban una coloración ligeramente verdosa). (Figura 5).

Para elegir el sitio en donde se puso el plato con las uvas se observó primero la presencia de cucuves en el área, luego se los atrajo utilizando grabaciones de cucuves o sonidos similares a los que ellos hacen, una vez que los cucuves se dieron cuenta de la presencia del plato con las uvas se esperó a que se acercuen y empiecen a consumir el alimento ofrecido. Antes de retirar el plato con los pedazos de uvas se esperó 10 minutos.

Las pruebas de preferencia de color del alimento fueron realizadas con 30 cucuves silvestres (19 del barranco y alrededor de las instalaciones de la Fundación Charles Darwin, 3 del área circundante al Parque Nacional Galápagos y 8 del camino a Tortuga Bay). Del número total de individuos muestreados 19 fueron adultos y 11 juveniles. Todas las aves, con excepción de dos individuos, se acercaron y comieron del plato que contenía los pedazos de uvas teñidas. Estos dos individuos fueron excluidos del análisis.

### **Observación y toma de datos**

Se observó el comportamiento de los cucuves mientras permanecieron en el plato, se anotó el número y el color de los pedazos consumidos, así como el de los dejados en el plato. También se anotó la fecha, la hora, el sitio de muestreo, la identificación de los cucuves (anillos o alguna característica física) y la edad (juvenil o adulto).

Durante estos experimentos se observó que el número de cucuves que se acercó al plato no fue mayor que uno por lo que las observaciones se facilitaron muchísimo ya que se

supo con certeza el individuo que fue muestreado a pesar de no tener anillos que permitan su identificación.

Para evitar muestrear a un individuo dos veces se procedió a realizar el experimento en diferentes sitios. Así, por ejemplo, en el barranco se muestreó a un individuo en el sendero 1 en los primeros 10 metros, el próximo muestreo ya no se hizo en esta área sino más adentro de este mismo sendero a unos 20 metros aproximadamente.

### **Análisis estadísticos**

Todas las aves, con excepción de dos individuos, se acercaron y comieron del plato que contenía los pedazos de uvas teñidas. Estos dos individuos fueron excluidos del análisis.

Se sumó el número de pedazos dejados y consumidos y se hizo un análisis Ji cuadrado ( $\chi^2$ ) para observar si existen diferencias significativas entre los dos grupos. Luego se analizó si había alguna diferencia entre los pedazos dejados y consumidos con relación al color, para este análisis también se utilizó Ji cuadrado ( $\chi^2$ ). Finalmente, se analizó la diferencia de la preferencia de colores mostrada en el número de pedazos dejados y consumidos por adultos y juveniles.

## Resultados

### Pinzones de Punta Estrada

#### Primer experimento: Presentación individual de los diferentes colores de arroz

##### Identificación de preferencias de color y tendencias de consumo

Durante los experimentos en los que se presentaron el arroz sin teñir y los arroces teñidos de un solo color se observó que los pinzones prefirieron consumir el arroz natural sin teñir. Sin embargo, las diferencias entre el consumo del arroz blanco y del teñido dependió del color del grano. Así las diferencias más marcadas fueron con el arroz rojo y azul. Con el arroz rojo se observó que su aceptación fue grande, incluso total, mientras que con el arroz azul se observó que las aves evitaban su consumo (Tabla 3).

Si se excluye al arroz blanco y se analizan los índices de consumo de los cuatro colores se puede observar que hubo un consumo diferencial del arroz teñido que dependió del color ( $Q=11.914$ ,  $d.f.=3$ ,  $p=0.008$ ). En general, el color preferido por las aves fue el rojo mientras que el que tuvo menor preferencia fue el azul. También se observó que las aves consumieron más arroz amarillo que verde, sin embargo, esta cantidad no fue superior a la del rojo (Figura 6). El índice de consumo de arroz azul fue el que mayor variabilidad mostró (Tabla 4).

En cuanto a la tendencia de consumo se observó que los índices de consumo de los cuatro colores de arroz mostraron un patrón similar: un consumo mínimo durante el primer día pero que aumentó con el transcurso de los días de experimentación mientras

que el índice de consumo del arroz blanco mostró que este tipo de arroz fue consumido casi en su totalidad desde el inicio hasta el final de la experimentación. La proporción en la que el consumo de arroz teñido se incrementó dependió del color del mismo.

### **Observaciones focales**

Cuando se analizaron las categorías de la frecuencia de los picoteos realizadas en cada uno de los colores ofrecidos por las aves muestreadas (Tabla 7) se observó que hay diferencias significativas entre las tres categorías de picoteos y los cuatro colores analizados ( $\chi^2=15.457$ , d.f.=6,  $p=0.017$ ).

Se observó que los pinzones se comportaron de distinta manera frente al arroz teñido y al arroz blanco. Algunos picotearon exclusivamente en el arroz blanco (neofóbicas), otros solamente en el arroz teñido (neofílicas), mientras que otros forrajeaban en los dos tipos de arroz o se movían constantemente por el área de muestreo tomando pocos granos o ignorando el alimento ofrecido (Tabla 5).

El número promedio de picoteos hecho a lo largo de todo el experimento con los cuatro colores fue de 9.75 picoteos por minuto. Se encontró que el número de picoteos cambió significativamente de acuerdo al color del grano ( $\chi^2=23.407$ , d.f.=3,  $p<0.0001$ ), por ejemplo, el promedio de picoteos hechos en el arroz amarillo y rojo fue mayor que el de los picoteos en el arroz azul durante el tiempo de observación (Tabla 6).

### **Aves neofóbicas vs. aves neofílicas**

Al analizar el número de aves que no picotearon (neofóbicas) y las que picotearon (neofílicas) se observó que el número de individuos de estas dos categorías variaron dependiendo del color del grano de arroz presentado ( $\chi^2=9.242$ , d.f.=3,  $p=0.026$ ). Hubo un mayor porcentaje de aves neofóbicas en el experimento con el arroz azul mientras que el mayor porcentaje de aves neofílicas fue con el arroz amarillo (Tabla 6).

La distribución del número de aves neofóbicas y neofílicas entre las diferentes especies de aves muestreadas y las dos clases de edades no fue significativa ( $\chi^2=8.919$ , d.f.=11,  $p=0.629$ - para especies ni  $\chi^2=13.002$ , d.f.=7,  $p=0.072$ -para edades). El hecho de que no hay diferencias significativas se mantiene tanto si se hace el análisis con cada color o si se comparan los cuatro colores al mismo tiempo

### **Evolución del consumo de aves neofílicas a lo largo del tiempo**

La Figura 7 muestra la distribución de las tres categorías antes mencionadas de acuerdo al color presentado. Se observa que hay una clara preferencia de las aves por el color rojo y amarillo ya que el 75- 100% de sus picoteos fueron hechos en estos colores. Además, se observa que las aves evitan el consumo de arroz azul y verde debido a que la mayoría de aves hicieron del 0 al 25% de sus picoteos en estos dos colores, esta tendencia es más notoria con el arroz azul.

Al momento de analizar la evolución del consumo de los cuatro colores de arroz teñido se observan diferencias entre ellos. Así, se constató que el comportamiento de las aves frente al color rojo iba cambiando (Figura 8). En el primer día, las aves casi no consumieron el arroz teñido; en el segundo y tercer día se observó que el consumo de

arroz rojo se incrementó, sin embargo, así como hubo individuos que comieron el arroz teñido hubo otros que casi no lo hicieron. Durante el cuarto día, hubo más pinzones que picoteaban con mayor frecuencia en los granos rojos.

La tendencia a lo largo del tiempo observada en los experimentos con el arroz azul fue diferente a la del rojo porque durante los cuatro días hubo más individuos que el 0-25% de sus picoteos lo hicieron en este color de arroz mientras que la mayoría de individuos no se acercaron ni consumieron los granos azules. A pesar de esta tendencia, se observó que el número de individuos que picoteaban en el arroz azul se fue incrementando lentamente, por lo que al final del cuarto día se observó que hubo una mayor cantidad de individuos que picoteaban en el arroz azul (Figura 8).

El consumo de arroz amarillo no tuvo una tendencia tan clara como la del arroz rojo y azul. Así como hubo individuos que consumieron poco arroz amarillo, hubo individuos que consumieron principalmente granos de este color (Figura 8).

El consumo de arroz verde durante el primer día fue pequeño ya que la mayoría de individuos observados picotearon destinaron menos del 25% del total de sus picoteos en el arroz verde. Conforme fueron pasando los días, aumentó la frecuencia con la que otros individuos picoteaban también en el arroz de este color. En el último día se observó que hubo individuos que consumían principalmente arroz verde pero al mismo tiempo, aves que casi no comieron granos de este color (Figura 8).

### **Segundo experimento: presentación simultánea de los diferentes colores de arroz**

Así como en el experimento anterior, el tipo de arroz más consumido por las aves fue el natural, en todos los días de experimentación el consumo de este arroz fue total mientras que el consumo del arroz teñido fue diferente dependiendo del color.

Cuando se les presentó los cuatro colores de arroz al mismo tiempo se observó una tendencia similar que cuando se presentó los cuatro colores individualmente: un consumo menor durante los primeros días de observación y luego un incremento del consumo. Este incremento dependió del color de arroz, el color más consumido fue el amarillo seguido por el rojo. El consumo de arroz verde fue mayor que el del azul pero tuvo una amplia variación entre días. El arroz azul fue el menos consumido de los cuatro colores (Figura 9). Esta variación de los índices de consumo entre los diferentes colores presentados es estadísticamente significativa ( $Q= 16.950$ ,  $d.f.=3$ ,  $p=0.001$ ).

Al comparar los cuatro colores se puede establecer que el consumo de arroz azul fue significativamente menor que del arroz amarillo y rojo (Tabla 8). Al analizar el índice de consumo del arroz verde se puede observar que este no es significativamente diferente al resto (Tabla 8).

## Pinzones carpinteros

Se realizaron 80 pruebas de preferencia de color con los cuatro pinzones carpinteros, en estas fueron ofrecidos 320 gusanos; el 75% fueron gusanos teñidos (18.75% de cada color) mientras que el 25% fueron controles. Del número total de gusanos ofrecidos, el 68.8% fue consumido mientras que el 31.3% no fue consumido.

Al comparar el consumo de los gusanos teñidos con el control se observó que estos últimos fueron consumidos en mayor porcentaje que cualquier color de gusano teñido. A pesar de este consumo diferenciado del gusano control, se pudo observar que existe una diferencia significativa del número de gusanos consumidos entre el azul y el control ( $\chi^2=5.001$ , d.f.=1,  $p=0.025$ ) y el verde y el control ( $\chi^2=11.082$ , d.f.=1,  $p=0.001$ ) (Tabla 9).

Al analizar el consumo de los gusanos de colores sin tomar en cuenta el control, se encontró que el color de gusanos que fue consumido en mayor porcentaje fue el azul seguido por el verde y amarillo. Los gusanos de color rojo fueron consumidos en menor porcentaje (Figura 10). Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas ( $\chi^2=3.695$ , d.f.=3,  $p=0.305$ ).

El hecho de que no haya diferencias en el consumo de los gusanos de color se puede deber a que hubo tan sólo 4 pinzones carpinteros y cada uno de ellos mostró un comportamiento muy diferente (Figura 11). El caso más extremo fue Purple Green debido a que esta ave dejó la mayoría de los gusanos que le fueron presentados sin importar el color (49 gusanos). A pesar de esto, comió 14 de los 18 controles que se le

dieron, este número excedió al número de gusanos consumidos de cualquier color; mostró cierta preferencia por los gusanos de color rojo y evitó consumir gusanos verdes y amarillos. Por su parte, Red Green mostró un comportamiento más diverso ya que consumió gusanos de todos los colores (42) y comió todos los controles que se le presentaron (20). Mostró una preferencia por los gusanos amarillos y por los azules, el rojo fue el color de gusano menos consumido por esta ave. Tanto Rosa Blue como Rosa Pink tuvieron un comportamiento mucho más diverso que el de Red Green ya que consumieron casi la totalidad de los gusanos teñidos presentados (48 y 49 gusanos, respectivamente) así como casi todos los controles (18 gusanos). Mientras que Rosa blue prefirió más los gusanos azules y rojos, y, evitó los amarillos y verdes, Rosa Pink eligió más gusanos verdes y azules y comió en menor número gusanos rojos y amarillos.

## **Cucuves**

Para la realización de estas pruebas se utilizaron 750 pedazos de uvas, 150 pedazos teñidos por cada color y 150 pedazos sin teñir utilizados como control. Del número total de pedazos presentados, 250 fueron consumidos mientras que el resto fue dejado en el plato (Tabla 10).

El número de pedazos de uva consumidos y dejados varió dependiendo del color con el que fueron teñidos ( $\chi^2=187.71$ ;  $df=4$ ,  $p=0.001$ ). El color que fue consumido en mayor proporción fue el rojo y el menos consumido fue el azul. El control fue dejado en igual proporción que los pedazos verdes y azules (Figura 12).

El número de pedazos que fueron consumidos por adultos y juveniles fue significativamente diferente ( $\chi^2 = 12.50$ ;  $df=4$ ;  $p=0.0140$ ). Sin embargo ambos grupos de edad mostraron una preferencia marcada por las uvas amarillas y rojas y rechazaron el verde y el azul (Figura 13).

## Discusión

Los pinzones de Darwin (*Geospiza* spp. y los cucuves de Galápagos (*Mimus parvulus*) mostraron preferencias de color al momento de elegir su alimento. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros estudios realizados en Nueva Zelanda y Estados Unidos, en donde especies endémicas de aves (*Petroica australis*, *Gallirallus australis* y *Zonotrichia querula*) escogieron su alimento basados en el color del mismo (Robel et al. 1997, Hartley et al. 1999, Hartley et al. 2000). Así como en los estudios antes mencionados, las especies estudiadas durante esta investigación mostraron patrones de preferencia de color, para la mayoría de las especies, el color preferido fue el rojo y el menos seleccionado fue el azul. Este resultado sugiere que el azul es un color que puede reducir el consumo accidental de veneno durante las campañas de erradicación de ratas en diferentes islas de Galápagos.

Para comprender los hallazgos de este estudio hay que analizar los resultados bajo tres aspectos importantes que son el color, las preferencias individuales y el tiempo.

El color es un factor determinante en el mundo visual de las aves diurnas ya que de él depende la detección y selección de la comida (Avery et al. 1999). Los colores de las frutas indican el grado de madurez en muchas especies de plantas y las aves utilizan este color como una pista para elegir frutas maduras (Wilson et al. 1990). Sin embargo, hay que tener en cuenta que los colores que los humanos observamos no necesariamente son los mismos observados por las aves debido a que las aves poseen un receptor visual adicional que es capaz de captar ondas de luz próximas al ultravioleta, es decir, menores que 300 nanómetros (Avery et al. 1999, Withgott 2000, Goldsmith 2006). Comprender

esto nos permite entender por qué las aves rechazaron el color azul. Según Wilson (1990) el color azul estaría cerca del límite visual por lo que este color puede reflejar la luz de tal manera que es menos atractivo a las aves.

La variación entre individuos en muchos aspectos de la búsqueda de comida ha sido reportada por lo que la variación en las preferencias de color no resulta sorprendente (Wilson et al. 1990). Esta variación de preferencia de colores tiene una base genética (Hausmann et al. 2003) y también puede ser producto de la enseñanza de los padres a las crías (Wilson et al. 1990).

### **Pinzones de tierra de Punta Estrada**

Durante los experimentos se observó que los pinzones de Punta Estrada mostraron un comportamiento singular frente a los cuatro colores de granos de arroz y al arroz blanco o control. El consumo de arroz blanco fue total, mientras que el de los granos de arroz teñidos dependió del color; el que tuvo mayor consumo fue el arroz rojo mientras que el más rechazado fue el azul. Este comportamiento de selección de color se mantuvo tanto en los experimentos en los que los cuatro colores fueron presentados individualmente como en los que fueron presentados simultáneamente.

Las diferencias en las preferencias individuales también fueron observadas en el comportamiento de los pinzones focales. Así, algunos se alimentaron exclusivamente del arroz blanco, otros sólo en el arroz teñido, mientras que la mayoría picoteó en los dos tipos de granos de arroz. Estas diferencias individuales en el comportamiento de los pinzones frente a varios colores de granos de arroz concuerdan con investigaciones

anteriores realizadas con otras especies de aves en otros lugares del mundo (Robel et al. 1997, Hartley et al. 1999, Puckey et al. 1996).

Por otro lado, el hecho de no haber encontrado diferencias significativas en la frecuencia de picoteos hecha en los cuatro colores muestreados entre las tres especies de pinzones (*G. fortis*, *G. scandens* y *G. fulliginosa*) puede sugerir que las preferencias en especies relacionadas pueden ser las mismas. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre adultos y juveniles de las tres especies. A pesar de esto, durante las observaciones focales, los juveniles preferían los granos de color a los arroces sin teñir, posiblemente debido a que estos durante el proceso de tinción se volvieron más suaves lo que facilitaba su manipulación y posterior consumo.

Esta preferencia similar podría ser utilizada para formular el veneno con el mismo color, en este caso, el azul que evitará que un rango más extenso de especies de aves consuma accidentalmente el cebo tóxico utilizado para eliminar roedores.

El consumo de arroz teñido de los pinzones (*Geospiza* spp.) de Punta Estrada mostró una tendencia creciente con el transcurso del tiempo, así, durante los primeros días en que un nuevo color de arroz fue presentado, el consumo fue menor debido a que las aves se mostraron neofóbicas; mientras que en los últimos días de experimentación, el consumo fue mayor, incluso, total. Este comportamiento también fue reportado por Hartley et al. (2000) quienes encontraron que la weka (*Gallirallus australis*), un ave endémica de Nueva Zelanda, después de varios días de exposición empezó a consumir el alimento de todos los colores, incluso de aquellos que al principio fueron rechazados. Esta tendencia sugiere que los pinzones al principio se mostraron tímidos al nuevo color

de arroz pero luego de que se dieron cuenta que su consumo no implicaba peligro, se alimentaron normalmente de él.

Este comportamiento se pudo deber a que ya estuvieron acostumbrados a comer arroz por muchos años antes de la realización de esta investigación. Sin embargo, si las aves no estuvieran condicionadas a consumir arroz, un alimento que no está naturalmente incluido en su dieta, y, aún mostraran esta tendencia de consumo creciente, cuando sean expuestas al veneno estarían en alto riesgo de morir envenenadas accidentalmente.

### **Pinzones carpinteros**

Los pinzones carpinteros no mostraron una tendencia de preferencia de colores tan clara como los pinzones de Punta Estrada. Durante las pruebas se observó principalmente diferencias individuales entre los cuatro pinzones carpinteros. Aparentemente, estos consumieron los gusanos teñidos sin discriminarlos por el color pero se observó que cada individuo tiene preferencias diferentes. Estos resultados obtenidos pueden ser reflejo de una muestra poblacional pequeña ya que sólo se experimentó con cuatro pinzones carpinteros o también pueden ser consecuencia de que estas aves permanecieron en cautiverio por más de un año. Durante este tiempo pudieron adquirir la costumbre a comer los gusanos ofrecidos sin importar el color o el sabor.

Sin embargo, durante unos experimentos conducidos se observó que estos pinzones pese a estar en cautiverio mantienen la capacidad de seleccionar su comida (Garret 2009 *en preparación*). Estos experimentos consistieron en ofrecer a las aves dos especies de polillas: una no tóxica y la otra tóxica. El resultado general fue que los pinzones

evitaron consumir las polillas tóxicas y se alimentaron exclusivamente de las polillas que no representaban un riesgo ni peligro para ellos. Este resultado sugiere que pese a que los pinzones permanecieron en cautiverio todavía tienen la capacidad de discriminar su comida tomando en cuenta otros factores diferentes al color y que factores como el sabor o como la forma de sus potenciales presas pueden ser los factores determinantes para la selección de presas.

Como ya se mencionó anteriormente, dado que la muestra de pinzones carpinteros fue muy pequeña no se puede generalizar que los resultados observados corresponden a todos los pinzones carpinteros. Sin embargo, estos resultados nos brindan una idea general del posible mecanismo de selección de la comida que tienen estas aves.

## **Cucuves de Galápagos**

Los cucuves también mostraron preferencias de colores al momento de elegir las uvas. Hubo una diferencia significativa entre el número de uvas consumidas y el número de uvas dejadas dependiendo del color, por lo que se puede suponer que si hubo selección. El consumo de uvas dependió del color; el color más consumido fue el rojo mientras que el más rechazado fue el azul. El control fue consumido en igual proporción que el azul y el verde debido a que este tuvo una coloración verdosa.

Durante los experimentos se observó que los cucuves de por sí tienen un comportamiento exploratorio elevado que es más notorio en los juveniles. A pesar de que los adultos se acercaban rápidamente al plato con los pedazos de uvas, estos eran más cautos que los juveniles; estos últimos, se acercaban al plato sin importar que el

investigador estuviera cerca y comían todo lo que podían. También se observó que los adultos se tomaban su tiempo para elegir el pedazo del color preferido mientras que los juveniles tomaban cualquier pedazo. Esta variación en el comportamiento puede tener su origen en que las crías siguen a sus padres y aprenden a buscar comida. Parece razonable esperar más variación entre las aves juveniles que están aprendiendo a buscar comida que las aves más viejas y expertas (Wilson et al. 1990). Las diferencias entre las preferencias de color de los cucuves adultos y juveniles fueron significativas, sin embargo, se observan que tienen el mismo patrón de preferencia, prefieren más las uvas de color rojo y evitan el consumo de los pedazos verdes y azules.

Este estudio es importante porque permitió determinar la preferencia de colores de la comida de algunas especies endémicas de aves de Galápagos. Los conocimientos adquiridos durante la presente investigación tienen una aplicación directa en el manejo y conservación de la biodiversidad de Galápagos. Ahora se sabe que al utilizar un veneno de color azul durante las campañas de erradicación de roedores introducidos propuestas en el Plan Pinzón, se minimizará la muerte accidental de especies no objetivo, especialmente de pinzones terrestres y cucuves ya que este es un color que no es atractivo para ellas.

También hay que tener presente el hecho de que las aves pueden rechazar al principio el veneno recién colocado por ser de un nuevo color pero conforme vayan pasando los días, las aves pueden sentirse curiosas y aproximarse al veneno, por esta razón, es necesario diseñar las dispersiones de veneno de tal manera que la duración y presencia del veneno en el medio sea el mínimo para que se reduzca el riesgo de consumo accidental.

## Conclusiones

Durante la presente investigación se estudió las preferencias de color que tienen el pinzón mediano de tierra (*Geospiza fortis*), pinzón pequeño de tierra (*Geospiza fulliginosa*), pinzón de cactus (*Geospiza scandens*), pinzón arbóreo *Camarhynchus parvulus*, pinzón carpintero (*Cactospiza pallida*) y el cucuve de Galápagos (*Nesomimus parvulus*). Se escogió estudiar a estas aves debido a que por su distribución y hábitos alimenticios enfrentan un potencial riesgo de morir envenenadas accidentalmente durante las campañas de erradicación.

Estas aves, con excepción de los pinzones carpinteros (*Cactospiza pallida*), mostraron tendencias de preferencia similares: evitaron el consumo de los granos de arroz azules mientras que los preferidos fueron los rojos. Esto sugiere que el azul sería el color adecuado que debería tener el veneno para reducir el número de aves muertas.

Los pinzones de Punta Estrada mostraron un patrón de consumo que varió a lo largo del tiempo. El primer día de la experimentación, el consumo de los granos de arroz teñido fue mínimo. Conforme fueron pasando los días, la cantidad de arroz teñido consumida se fue incrementando. Este resultado sugiere que al principio las aves pueden mostrarse tímidas al nuevo color pero conforme va pasando el tiempo, las aves se familiarizan con el nuevo color y empiezan a consumirlo. Este hecho en la práctica podría significar que el riesgo de envenenamiento se incrementa conforme aumenta el tiempo de exposición de las aves al cebo tóxico de un determinado color.

Al comparar las distintas especies de pinzones no se encontraron diferencias significativas en las preferencias de color. Esto significa que las preferencias en especies cercanas serían las mismas por lo que las especies que no fueron incluidas en este estudio también podrían presentar la misma tendencia de preferencia de color. Un caso similar se registró al comparar las dos clases de edades; no se encontró diferencias significativas entre adultos y juveniles de la misma y de diferentes especies.

Las preferencias de color de los pinzones carpinteros no fueron definidas. Esto pudo deberse a que la muestra fue muy pequeña o porque los pinzones ya estaban acostumbrados a comer gusanos por lo que les daba lo mismo comer un gusano teñido o no pues sabían que era comida.

Estudiando a los pinzones carpinteros se pudo observar con mayor detalle las implicaciones de las preferencias individuales y cómo estas alteran las tendencias de toda la población. Por ejemplo, hubo un pinzón que comió muy pocos gusanos (teñidos o controles) en cambio, hubo otra ave que comió todos los colores de gusanos. Por esta razón es muy importante asegurarse que la muestra sea lo suficientemente grande porque caso contrario, los resultados no podrán ser extrapolados a toda la población.

Los cucuves son aves que se alimentan principalmente en el suelo. Son omnívoras con un gran comportamiento exploratorio; estas características las hacen particularmente susceptibles a consumir accidentalmente el veneno. Este comportamiento es más notorio en los juveniles. A pesar de este hecho, los cucuves mostraron una preferencia de color similar a la de los pinzones: evitaron los pedazos de uvas azules y comieron en

mayor proporción los de color rojo. Además, no se encontraron diferencias significativas entre las preferencias de adultos y juveniles.

Los hallazgos de este estudio permitirán incorporar al veneno que será utilizado durante las erradicaciones propuestas en el Plan Pinzón, el color adecuado para minimizar el número de aves muertas por consumo de veneno. Se ha encontrado que el color azul es el ideal para ser incorporado en el veneno ya que todas las aves evitaron consumir la comida de este color.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que las dispersiones tienen que ser planificadas de tal manera que el veneno quede expuesto en el ambiente por el menor tiempo posible debido a que las aves, especialmente los pinzones tienden a acostumbrarse a la presencia de nuevos colores.

Como se ha mencionado a lo largo del presente documento, el objetivo de encontrar un mecanismo que reduzca el número de especies no objetivo afectadas por las dispersiones de veneno no es eliminar la probabilidad de que ciertos individuos mueran por consumir el veneno sino evitar que la erradicación afecte de tal manera a una población de una especie que no se pueda recuperar.

En general los impactos a especies no objetivo durante las campañas de erradicación deben ser considerados en términos de los efectos a nivel de población, no en los efectos a nivel de individuo y en términos de un bienestar mayor que es logrado a través de una erradicación exitosa. Siempre habrá muertes accidentales, sin embargo, si medidas de precaución son tomadas, habrá menos y la población se recuperará fácilmente.

## Recomendaciones

Durante el desarrollo de la presente investigación se observó que ciertos procedimientos utilizados en la metodología pudieron ser diseñados y ejecutados de distinta manera, también se llegó a determinar que para que los resultados encontrados en este trabajo sean totalmente útiles es necesario tomar otras acciones complementarias.

Debido a que no se pudo anillar a los pinzones de Punta Estrada para identificarlos individualmente no se establecieron las preferencias individuales de cada pinzón presente en el área de muestreo durante toda la experimentación. Por esta razón, los resultados de las preferencias aquí presentadas son un reflejo de la tendencia general de toda la población muestreada. Dada esta limitación en el presente estudio, se sugiere que para próximas investigaciones se experimente con individuos marcados para conocer con exactitud cómo el comportamiento de un individuo incide en una tendencia general de consumo. Es importante tener en cuenta que existen diferencias individuales por lo que es irreal esperar que un color logre disuadir al 100% de las aves. Este tipo de investigación debe enfocarse en determinar con qué colores se logrará disuadir a la mayor proporción de aves como sea posible a una comida nueva.

Pese a que existen diferencias individuales en la frecuencia de picoteos en los cuatro colores de arroz, esta tendencia no puede ser extrapolada al nivel de especies debido a que el número de aves observadas fue pequeño, por esta razón para poder conocer si hay diferencias en la preferencia de colores entre especies se sugiere aumentar el número de aves observadas en la cual se incluyan a todas las especies posibles y de las dos clases de edades (adultas y juveniles). También es necesario realizar estas pruebas utilizando

poblaciones diferentes para observar si las preferencias de colores son similares entre ellas.

Dentro del Plan Pinzón se incluyen actividades complementarias a la presente investigación que asegurarán que las dispersiones del veneno sean efectivas para eliminar roedores pero que minimicen la muerte accidental de especies endémicas y nativas. En este contexto, podrían realizar las siguientes actividades: experimentos con cebos no tóxicos teñidos para observar si las aves se acercan o no a estos, pruebas de duración del veneno a condiciones ambientales normales y determinación de dosis letales para pinzones y cucuves. Además, se sugiere realizar pruebas similares a las realizadas en esta investigación con otras especies de aves nativas y endémicas de Galápagos.

Utilizando las conclusiones de este estudio se ha recomendado hacer experimentos con cebos no tóxicos teñidos de diferentes colores para observar si las aves lo consumen. En otros lugares del mundo como Nueva Zelanda, estos experimentos ya se han realizado y se ha observado que existe concordancia entre los resultados de los experimentos realizados con comida teñida y utilizando cebos no tóxicos teñidos. Spurr (1993) observó que algunas aves nativas y endémicas de Nueva Zelanda evitaron el cebo teñido de verde pero hubo un rechazo más fuerte al cebo de color azul.

También es necesario determinar cuál es la duración del veneno en condiciones naturales porque el tiempo de exposición de las aves a este va a ser un factor determinante en el hecho de que las aves consuman o no el veneno. Es importante

tomar en cuenta cuál va a ser la reacción de las aves al veneno durante el primer día pero también que sucederá con el veneno dejado en el ambiente.

Como se expuso anteriormente, muchos de los individuos observados tanto de pinzones como cucuves, probaron comida de color verde y azul; si esta comida hubiera sido el veneno es muy posible que estas aves hubieran muerto después de consumirlo o podrían haberse sentido mal o aprendido a relacionar el color con el malestar. Sin embargo, no se sabe con certeza cuánto de veneno como mínimo debe comer un pinzón o un cucuve para morir envenenado. Estos experimentos para determinar la dosis letal en especies endémicas de Galápagos no serían factibles por tratarse de especies únicas en el mundo por esta razón es importante hacer las pruebas con el cebo no tóxico porque si se asegura que las aves no se acerquen a probar este cebo se evitará que consuman el veneno.

Debido a que las preferencias son similares en las especies muestreadas se podría inferir que estas preferencias son las mismas para todas las especies endémicas de aves de Galápagos, sin embargo, hacen falta estudios con otras aves, especialmente terrestres, como la Paloma de Galápagos (*Zenaida galapagoensis*). Además, es importante conocer cuáles son los efectos del envenenamiento secundario en Gavilanes de Galápagos.

## Bibliografía

Avery, M. L., J. S. Humphrey, D. G. Decker, and A. P. M. Grane. 1999. Seed Color Avoidance by Captive Red-Winged Blackbirds and Boat-Tailed Grackles. *The Journal of Wildlife Management* 63:1003-1008.

Donlan, C. J., G. R. Howald, B. R. Tershya, and D. A. Crolla. 2003. Evaluating alternative rodenticides for island conservation: roof rat eradication from the San Jorge Islands, Mexico. *Biological Conservation* 114:29-34.

Eason, C. T., and E. B. Spurr. 1995. Review of the toxicity and impacts of brodifacoum on non-target wildlife in New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology* 22:371-379.

Empson, R., and C. M. Miskelly. 1999. The risks, costs and benefits of using brodifacoum to eradicate rats from Kapiti Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology* 23:241-254.

Fessl, B. 2009. Mangrove Recovery Project. in. <http://www.darwinfoundation.org/english/pages/interna.php?txtCodiInfo=124>.

Fundación Charles Darwin, and Parque Nacional Galápagos. 2008. The Re-introduction of the Floreana Mockingbird to its Island of Origin. Final Report Workshop for the Re-introduction of the Floreana Mockingbird (*Nesomimus trifasciatus*). Puerto Ayora, Galápagos.

Fundación Charles Darwin, and Servicio Parque Nacional Galápagos. 2007. PROYECTO PINZÓN: Restauración de los Ecosistemas de las Islas Galápagos mediante la Eliminación de Roedores Introducidos.

Goldsmith, T. 2006. What birds see. *Scientific American*:68-75.

Grant, P. R., R. L. Curry, and B. R. Grant. 2000. A remnant population of the Floreana Mockingbird on Champion Island, Galápagos. *Biological Conservation* 92:285-290.

Harper, G. A., and L. F. C. Freire. Response of mice (*Mus musculus*) to the removal of ship rats (*Rattus rattus*) in arid forest on Santa Cruz Island, Galápagos.

Harris, D. B. 2009. Review of negative effects of introduced rodents on small mammals on islands *Biological Invasions* 11:1611-1630.

Hartley, L., C. O. Connor, J. Waas, and L. Matthews. 1999. Colour preferences in North Island robins (*Petroica asutralis*): implications for deterring birds from poisonous baits. *New Zealand Journal of Ecology*:255-259

- Hartley, L., J. Waas, C. O'Connor, and L. Matthews. 2000. Colour preferences and coloured bait consumption by weka *Gallirallus australis*, an endemic New Zealand rail. *Biological Conservation*:255-263
- Hausmann, F., K. E. Arnold, N. J. Marshall, and I. P. F. Owens. 2003. Ultraviolet signals in birds are special. *The Royal Society*:61-67.
- Hoare, J. M., and K. M. Hare. 2006. The impact of brodifacoum on non-target wildlife: gaps in knowledge. *New Zealand Journal of Zoology* 30:157-167.
- Howald, G., C. J. Donlan, J. P. Galván, J. C. Russell, J. Parkes, A. Samaniego, W. Wang, D. Veitch, P. Genovesi, M. Pascal, A. Saunders, and B. Tershy. 2007. Invasive rodent eradication on islands. *Conservation Biology* 21:1258-1268.
- Jones, H. P., B. R. Tershy, E. S. Zavaleta, D. A. Croll, B. S. Keitt, M. E. Finkelstein, and G. R. Howald. 2008. Severity of the effects of invasive rats on seabirds: a global review *Conservation Biology* 22:16-22.
- Key, G., E. Wilson, and J. Conner. 1994. Present status of *Rattus norvegicus* on Santa Cruz Island, Galápagos, Ecuador. Pages 118-123 in *Proceedings of the Sixteenth Vertebrate Pest Conference (1994)*. University of Nebraska - Lincoln, Lincoln.
- Lavoie, C., C. J. Donlan, K. Campbell, F. Cruz, and G. V. Carrion. 2007. Geographic tools for eradication programs of insular non-native mammals. *Biological Invasions* 9:139-148.
- Myers, J. H., D. Simberloff, A. M. Kuris, and J. R. Carey. 2000. Eradication revisited: dealing with exotic species. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 316-320
- Orueta, J. F., and Y. A. Ramos. 2001. Methods to control and eradicate non-native terrestrial vertebrate species. *Nature and environment* 118:3-68.
- Puckey, H. L., A. Lill, and O. Dowd. 1996. Fruit colour choices of captive silvereyes (*Zosterops lateralis*) *Condor* 98:780-790.
- Robel, R. J., J. F. Keating, J. I. Zimmerman, K. C. Behnke, and K. E. Kemp. 1997. Consumption of colored and flavored food morsels by Harris' and American tree sparrows. *Wilson Bulletin* 2:218-225.
- Smith, E. L., V. J. Greenwood, and A. T. D. Bennett. 2002. Ultraviolet colour perception in European starlings and Japanese quail. *The Journal of Experimental Biology* 205:3299-3306.
- Stevens, M., and I. C. Cuthill. 2007. Hidden Messages: Are Ultraviolet Signals a Special Channel in Avian Communication? *Bioscience* 57:501-507.
- Tershy, B. R., and D. Breese. 1994. Color preference of the island endemic lizard *Uta palmeri* in relation to rat eradication campaigns. *the Southwestern Naturalist* 39:295-300.

Towns, D. R. 2009. Eradications as reverse invasions: lessons from Pacific rat (*Rattus exulans*) removals on New Zealand islands. *Biological Invasions* 11:1719-1733.

Tye, A., and M. C. Soria. 2002. A strategy for Galápagos weeds. Pages 336-341 in C. R. Veitch and C. M. N., editors. Conference on eradication of island invasives. IUCN.

Vié, J. C., C. Hilton-Taylor, and S. N. Stuart, editors. 2009. *Wildlife in a Changing World – An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN, Gland, Switzerland.

Wilkie, S. E., P. M. A. M. Vissers, D. Das, W. J. Degrip, J. K. Bowmaker, and D. M. Hunt. 1998. The molecular basis for UV vision in birds : spectral characteristics, cDNA sequence and retinal localization of the UV-sensitive visual pigment of the budgerigar (*Melopsittacus undulatus*). *Biochemistry Journal* 330:541-547.

Wilson, M. F., D. A. Graff, and C. J. Whelan. 1990. Color preferences of frugivorous birds in relation to the colors of fleshy fruits *Condor*:545-555.

Withgott, J. 2000. Taking a Bird's Eye View...in the UV. *Bioscience* 50:854-859.

Wittmer, G., J. D. Eisemann, and G. Howald. 2007. The use of rodenticides for conservation efforts. Pages 160-167 in D. L. Nolte, W. M. Arjo, and D. H. Stalman, editors. *Wildlife Damage Management Conference*. Internet Center for USDA National Wildlife Research Center- Staff Publications.

Zavaleta, E. S. 2002. It's often better to eradicate, but can we eradicate better? Pages 392-404 in V. C.R and C. M.N, editors. Conference on eradication of island invasives. IUCN.

## Anexos

**Tabla 1. Nombres comunes y científicos de las aves muestreadas durante los experimentos realizados en Punta Estrada**

Grupo	Nombre científico	Nombre común
Pinzones terrestres	<i>Geospiza fulliginosa</i>	Pinzón pequeño de tierra
	<i>Geospiza fortis</i>	Pinzón mediano de tierra
	<i>Geospiza magnirostris</i>	Pinzón grande de tierra
Pinzones arbóreos	<i>Geospiza scandens</i>	Pinzón de cactus
	<i>Camarhynchus parvulus</i>	Pinzón pequeño de árbol

**Tabla 2. Número de individuos de cada uno de las especies y clases de edad muestreados durante los experimentos con los cuatro colores de granos de arroz.**

ESPECIE		Azul		Amarillo		Rojo		Verde	
Nombre común	Nombre científico	J	A	J	A	J	A	J	A
Pinzón de árbol	<i>Camarhynchus parvulus</i>		1		1				
Pinzón de cactus	<i>Geospiza scandens</i>	2	9	7	8	6	4	7	8
Pinzón grande de tierra	<i>Geospiza magnirostris</i>		2	1	1	2		2	1
Pinzón mediano de tierra	<i>Geospiza fortis</i>	7	9	6	8	10	6	7	5
Pinzón pequeño de tierra	<i>Geospiza fulliginosa</i>	2	8	3	5	3	9	3	7
<b>TOTAL</b>		<b>11</b>	<b>29</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>21</b>

J= Juvenil

A= Adulto

**Tabla 3. Valores p de la prueba Wilcoxon que compara índices de consumo de arroz teñido y arroz natural**

Color	P<0.05, g.l.=1
Amarillo	0.014
Azul	0.008
Rojo	0.016
Verde	0.014

**Tabla 4. Valores Mann-Whitney que comparan los índices de consumo de los cuatro colores de arroz analizados**

Colores comparados		U Mann-Whitney	p<0.05, g.l.=1
Rojo	Azul	2	0.001
Rojo	Amarillo	17	0.232
Rojo	Verde	12	0.072
Azul	Amarillo	60	0.002
Azul	Verde	54	0.021
Amarillo	Verde	26	0.574

**Tabla 5. Número de pinzones focales que respondieron a la presentación de dos tipos de arroz**

Color	Picoteos solo blanco	Picoteos solo teñido	Picoteos en ambos tipos de arroz	No interesado	TOTAL
Azul	21	2	17	0	40
Amarillo	9	12	18	1	40
Rojo	13	8	19	0	40
Verde	10	6	22	2	40
<b>TOTAL</b>	<b>53</b>	<b>28</b>	<b>76</b>	<b>3</b>	<b>160</b>

**Tabla 6. Número de individuos focales que picotearon en los diferentes colores de arroz presentados**

Picoteo	Color ofrecido			
	Amarillo	Azul	Rojo	Verde
<b>No picoteó (aves neofóbicas)</b>	9 23.08%	21 52.50%	13 32.50%	10 26.32%
<b>Picoteó (aves neofílicas)</b>	30 76.92%	19 47.50%	27 67.50%	28 73.68%

**Tabla 7. Distribución de los pinzones focales muestreados de acuerdo al porcentaje de picoteos hechos en los distintos colores ofrecidos.**

Categoría	Color ofrecido			
	Amarillo	Azul	Rojo	Verde
0-25%	16	27	16	21
25-75%	7	8	8	9
75-100%	14	2	14	7

**Tabla 8. Valores Mann-Whitney tras comparar los índices de consumo de los cuatro colores de arroz presentados simultáneamente (resaltados en amarillo están los valores no significativos)**

Colores analizados		P<0.05; g.l.=1
amarillo	azul	0.001
amarillo	rojo	0.025
amarillo	verde	0.078
azul	rojo	0.035
azul	verde	0.168
rojo	verde	0.701

**Tabla 9. Comparación del número de gusanos consumidos y no consumidos entre los colores ofrecidos y su control**

Estado final	Amarillo	Control	Azul	Control	Rojo	Control	Verde	Control
<b>Consumidos</b>	38	15	43	20	33	15	37	19
<b>No consumidos</b>	22	5	17	0	27	5	23	1

**Tabla 10. Consumo de uvas por cucuveas adultos y juveniles**

Edad	Estado Final		Total
	Consumidos	Dejados	
	155	320	475
<b>Adultos</b>	(20.7%)	(42.7%)	(66.6%)
	95	180	275
<b>Juveniles</b>	(12.7%)	(24%)	(33.3%)
	250	500	750
<b>Total</b>	(33.3%)	(66.6%)	(100%)



Pinzón grande de tierra  
(*Geospiza magnirostris*)



Pinzón pequeño de tierra  
(*Geospiza fulliginosa*)



Pinzón de cactus  
(*Geospiza scandens*)

P

Pinzón pequeño de árbol  
(*Camarhynchus parvulus*)



Pinzón mediano de tierra  
(*Geospiza fortis*)



Cucuve de Galápagos  
(*Nesomimus parvulus*)

**Figura 1. Aves muestreados durante la investigación**



**Figura 2. Pinzones de Darwin durante el primer experimento en Punta Estrada (se les ofreció arroz blanco y un solo color de arroz teñido)**



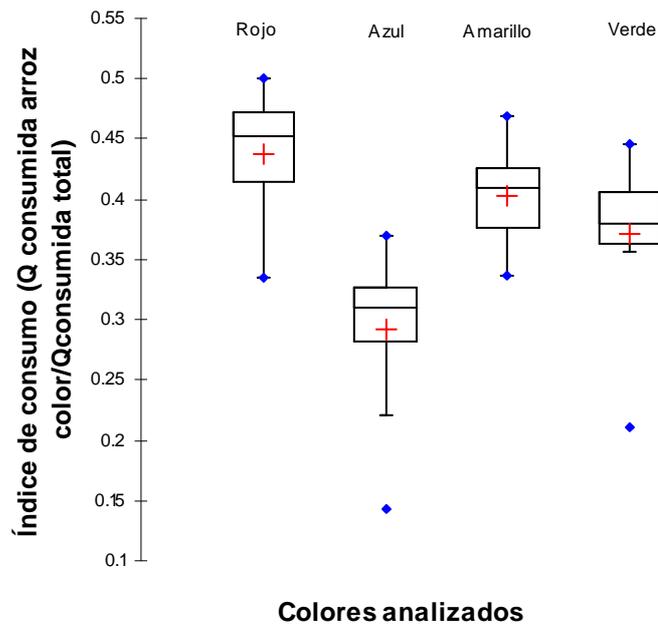
**Figura 3. Pinzones de Darwin durante el segundo experimento en Punta Estrada (se les ofreció arroz blanco y los cuatro colores de arroz teñido simultáneamente)**



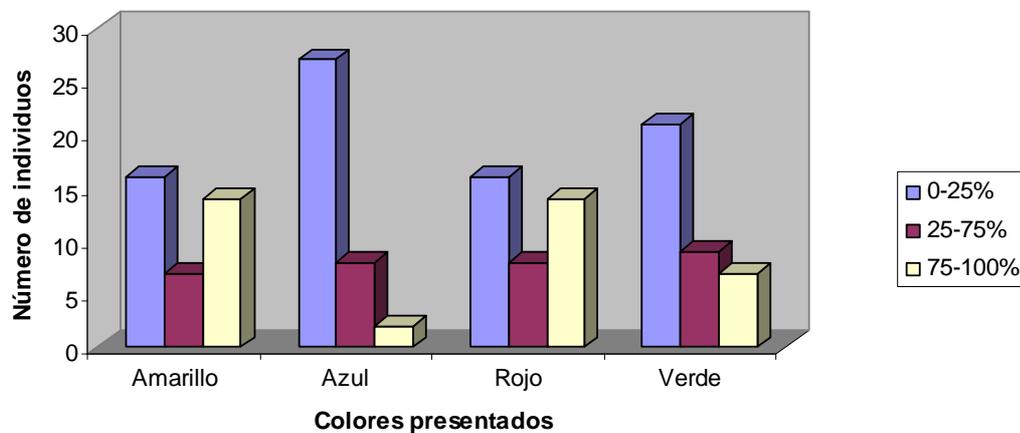
**Figura 4. Pinzón carpintero (*Cactospiza pallida*) mantenido en cautiverio junto a los gusanos teñidos utilizados durante los experimentos.**



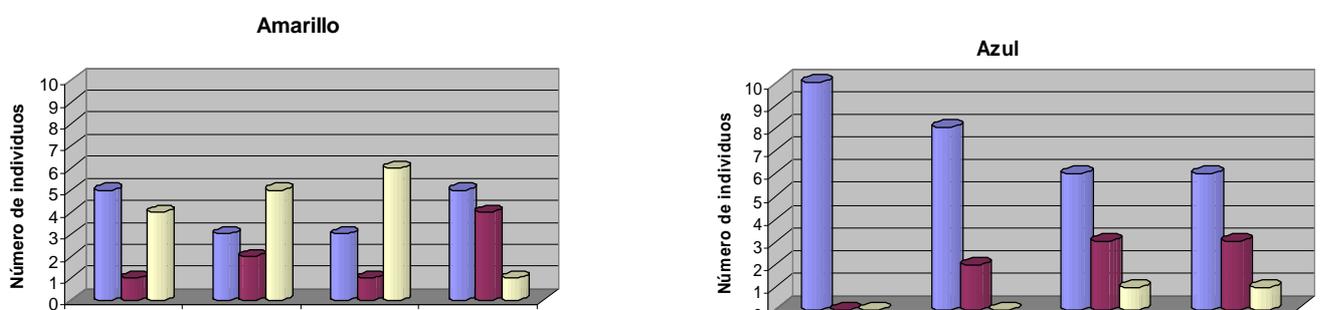
**Figura 5. Cucuve (*Nesomimus parvulus*) durante el experimento con las uvas teñidas**



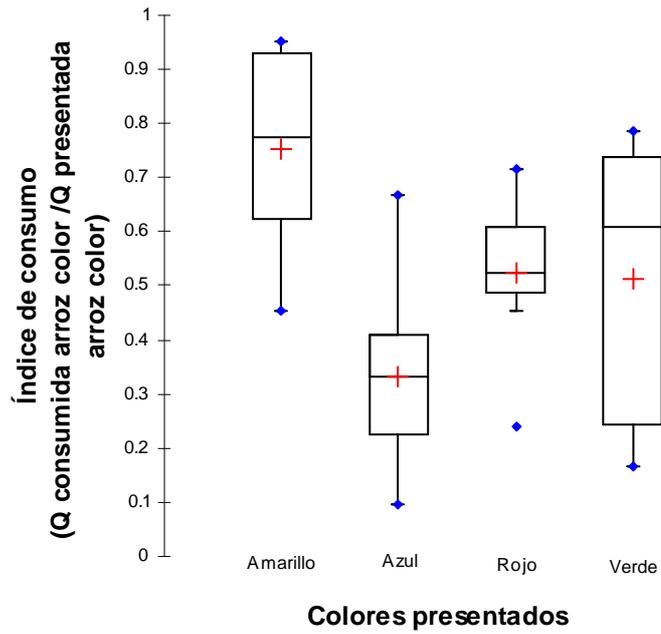
**Figura 6. Diferencias en el índice de consumo de los cuatro colores de arroz analizados cuando fueron presentados individualmente. Los puntos azules indican el rango de variación de los índices de consumo.**



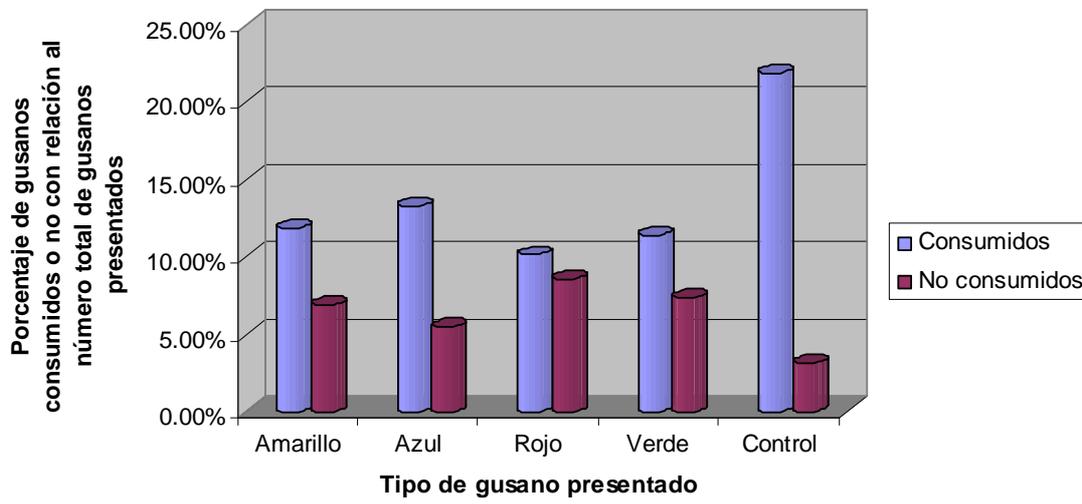
**Figura 7. Distribución de los individuos de acuerdo al porcentaje de picoteos hechos en los diferentes colores presentados**



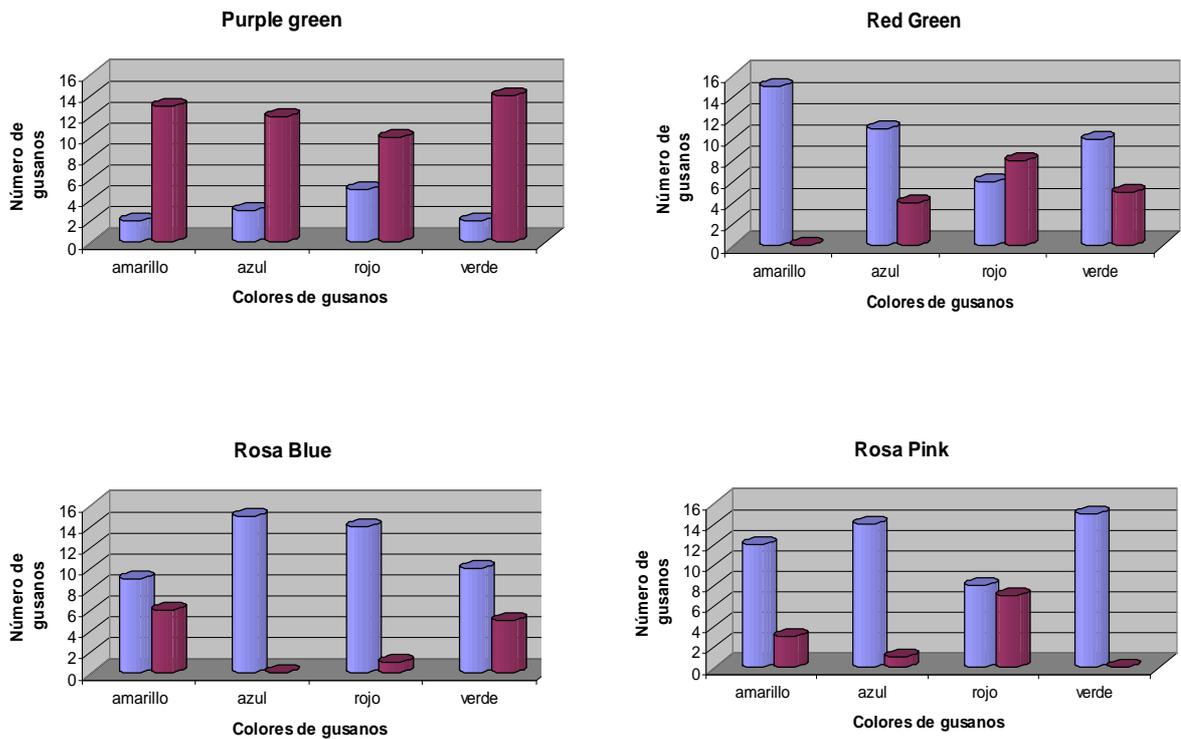
**Figura 8. Tendencias de picoteos de los pinzones muestreados en cada uno de los cuatro colores ofrecidos durante los cuatro días de experimentación**

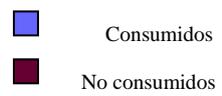


**Figura 9. Diferencias en el índice de consumo de los cuatro colores de arroz cuando fueron presentados simultáneamente. Los puntos azules indican rangos de variación de los índices de consumo de arroz teñido.**

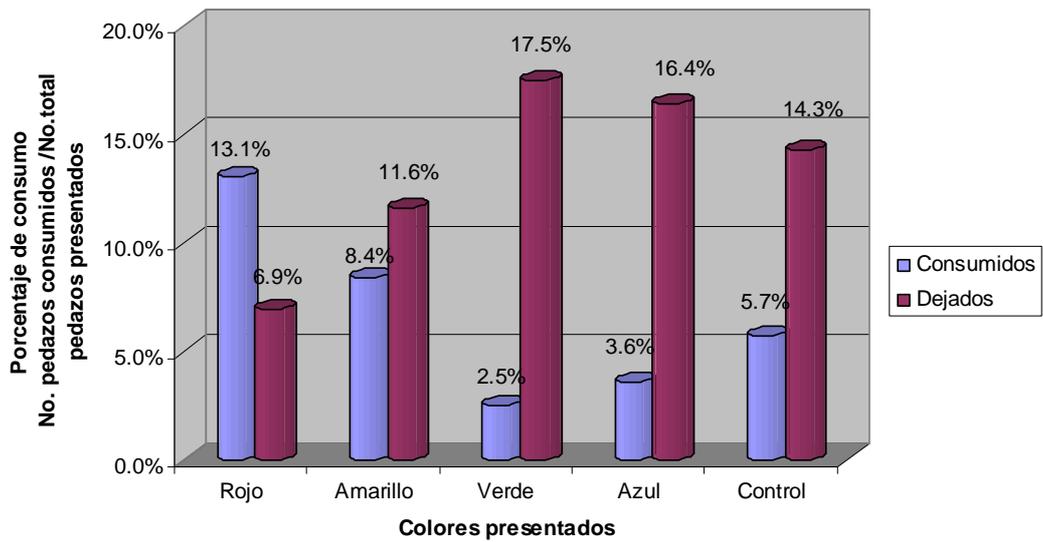


**Figura 10. Porcentaje de gusanos teñidos y controles consumidos o no de acuerdo con el número total de gusanos presentados**

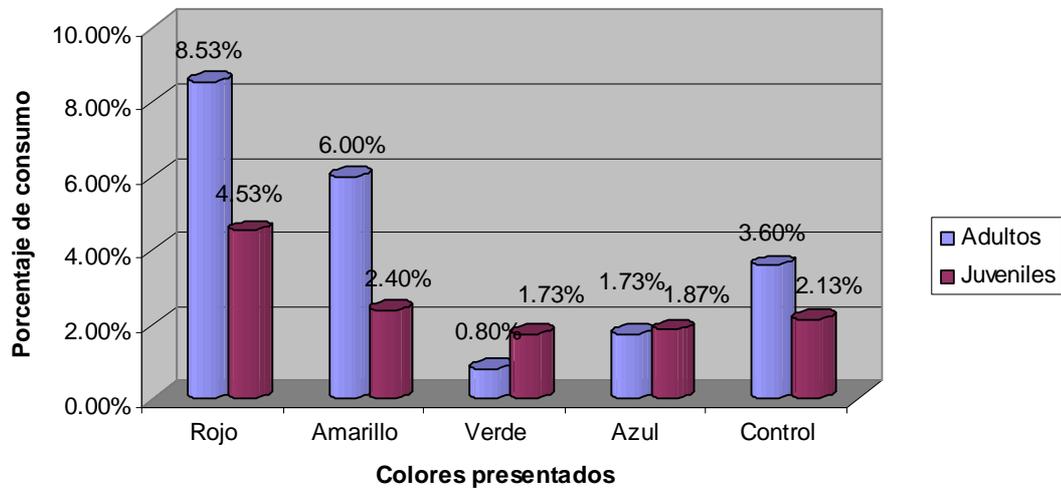




**Figura 11. Descripción del comportamiento de cada uno de los pinzones carpinteros muestreados**



**Figura 12. Proporción de uvas teñidas consumidas y dejadas por los cucuves muestreados**



**Figura 13. Proporción de uvas teñidas consumidas por cucuves adultos y juveniles**