

Proyecto de fin de Máster

Máster en Restauración de Ecosistemas

**“Recuperación de la población de la rana *Litoria aurea* en una mina de carbón a cielo abierto”**



VºBº Carmen Castor

Tutor institucional

CSER



VºBº Yvonne Nussbaumer

Tutor institucional

CSER

En Newcastle, Australia, el 12 de febrero de 2010.



VºBº Salvador Rebollo

Tutor académico

Universidad de Alcalá

En Alcalá de Henares, el 1 de agosto de 2010.

# Memoria

## Agradecimientos

Son muchas las personas a las que agradezco la colaboración, apoyo y deseos de ánimo aportados durante la realización de este proyecto y toda la duración del máster en general.

En primer lugar a todos miembros del *Centre for Sustainable Ecosystem Restoration*, por hacer un huequito en sus mesas, agendas y horas para todas las dudas, reuniones y días interminables de muestreo en la mina bajo el sofocante sol australiano. A Mike Cole porque fue el primero que confió en la realización de este proyecto y en especial a Carmen e Yvonne por su constante apoyo e interés, por el seguimiento día a día y sus inestimables consejos. Un gracias muy grande a John Clulow, Michelle Stockwell, Michael Mahony y todo el departamento de anfibios de la Universidad de Newcastle por dejarme aprender de ellos y facilitarme toda la información que he necesitado. También al departamento de botánica de la Universidad de Newcastle, por hacerme sentir como una más. Además, agradecer la colaboración de Andrew Hamer, que diligentemente contestó a mis preguntas y me ofreció mucho más.

Agradezco, de igual manera, la ayuda de José María Rey-Benayas, Ana Guerrero y Luis Balaguer en los temas administrativos y de coordinación. A Domingo Gómez-Orea por las revisiones y sus sugerencias, y por supuesto gracias a Salvador Rebollo que me animó a seguir cuando más lo necesitaba, encauzó mi proyecto cuando yo me encontraba más perdida y tuvo la paciencia de ser meticuloso con cada detalle.

Un gracias muy especial a todos los compañeros del máster y amigos a los que les he dado la tabarra con esto de las ranas. Y sobre todo gracias a Sara, que me ha acompañado en los muestreos, ha estado en todas las reuniones, las charlas, las salidas nocturnas, que ha escuchado mis dudas, soportado mis agobios y que siempre tenía una sonrisa para mí.

Por último agradezco a mi familia su apoyo incondicional desde el primer día (¡y las correcciones de última hora!) porque sin saber que ellos estaban ahí las cosas no hubieran sido tan fáciles.

## Resumen

El proyecto trata sobre la recuperación de la población de la rana *Litoria aurea* en el complejo minero del Monte Owen, una mina de carbón a cielo abierto en el estado de Nueva Gales del Sur en Australia. Esta rana, que es endémica del país, se encuentra en peligro de extinción y antes de que comenzara la explotación minera en 1991 formaba parte de la fauna local. Como medida compensatoria, el gobierno australiano establece en su normativa que se reconstruyan y se mejoren diferentes charcas presentes en el complejo minero para recuperar la población de *Litoria aurea*. Desde hace cuatro años en el *Centre for Sustainable Ecosystem Restoration* se trabaja rehabilitando y muestreando diferentes masas de agua, pero lamentablemente no se ha detectado la presencia de ningún espécimen de esta especie y por eso se plantean otro tipo de métodos como la reintroducción de individuos de *Litoria aurea*.

Debido al alto número de charcas presentes en el complejo minero, se considera indispensable realizar un estudio y caracterización física y biológica de las charcas que cumplen los requisitos mínimos para servir de hábitat de *Litoria aurea*. Con toda la información muestreada, la proveniente de la bibliografía y la consulta a expertos en el anfibio, se han establecido las variables predictoras de la presencia de *Litoria aurea* y las características que tendría una “charca ideal”, lo que permite aplicar diferente metodología para jerarquizar las charcas presentes según su idoneidad. De esta manera se ha establecido qué charcas son las más adecuadas para llevar a cabo la reintroducción de individuos por tener un hábitat de reproducción lo más similar posible al de la charca ideal.

De manera complementaria, en el presente proyecto se han concretado una serie de actuaciones de restauración y rehabilitación que se deben seguir de manera general en todas las charcas seleccionadas, así como medidas aplicadas concretamente a algunas de ellas con el objetivo de maximizar el éxito de la reintroducción. Igualmente, se han establecido las pautas generales para llevar a cabo la reintroducción en sí misma de forma que sea lo más efectiva y exitosa posible.

# Índice

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Introducción.....</b>                | <b>1</b>  |
| 1.1. Presentación .....                    | 1         |
| 1.2. Contexto: Litoria aurea .....         | 5         |
| Descripción.....                           | 5         |
| Biología .....                             | 7         |
| Hábitat .....                              | 11        |
| Distribución y estado de conservación..... | 15        |
| Amenazas .....                             | 17        |
| 1.3. Antecedentes .....                    | 20        |
| Charcas en el Monte Owen .....             | 20        |
| Reintroducción y cría en cautividad.....   | 27        |
| 1.4. Objetivos.....                        | 30        |
| Objetivo principal.....                    | 30        |
| Objetivos específicos.....                 | 30        |
| <b>2. Metodología.....</b>                 | <b>31</b> |
| 2.1. Revisión bibliográfica.....           | 31        |
| 2.2. Muestreos en el campo .....           | 31        |
| Características Generales .....            | 32        |
| Vegetación.....                            | 34        |
| Características Físicas .....              | 37        |
| Fauna .....                                | 39        |
| Calidad del Agua.....                      | 41        |
| 2.3. Selección de variables.....           | 42        |

|           |                                |           |
|-----------|--------------------------------|-----------|
| 2.4.      | Consulta a expertos .....      | 42        |
| 2.5.      | Tratamiento de los datos ..... | 43        |
|           | Análisis univariante .....     | 43        |
|           | Matriz de evaluación .....     | 44        |
| <b>3.</b> | <b>Resultados .....</b>        | <b>46</b> |
| <b>4.</b> | <b>Discusión.....</b>          | <b>59</b> |
| <b>5.</b> | <b>Conclusiones.....</b>       | <b>73</b> |
| <b>6.</b> | <b>Bibliografía .....</b>      | <b>75</b> |

## **1. Introducción**

### **1.1. Presentación**

El presente proyecto ha sido realizado en el *Centre for Sustainable Ecosystem Restoration* (Centro para la Restauración Sostenible de Ecosistemas), el cual es administrado a través de la Escuela de Ciencias Ambientales y de la Vida, perteneciente a su vez a la Facultad de Ciencias e Información Tecnológica de la Universidad de Newcastle (Australia). El centro surgió de la unidad de Ecología Fisiológica del Departamento de Botánica con el objetivo de trabajar conjuntamente con la industria minera, especialmente la del carbón.

El centro se dedica desde el año 2005 a la rehabilitación y restauración del complejo minero del monte Owen, explotado por la compañía minera *Xstrata Coal Australia*. Entre sus proyectos destacan la restauración y reconstrucción del bosque esclerófilo y tropical así como estudios sobre la biología y la gestión de especies y comunidades vegetales amenazadas o en peligro de extinción. Además el centro desarrolla modelos y metodologías para determinar el potencial de restauración, de dispersión y la capacidad de migración de las especies, así como estudios sobre sostenibilidad y capacidad de recuperación ecosistémica.

Uno de sus proyectos fue incluido por la Sociedad de Restauración Ecológica (SER, *The Society for Ecological Restoration*, 2010) dentro de los 18 proyectos de restauración altamente recomendables en Australasia.

El complejo minero del Monte Owen se localiza en el valle del bajo río Hunter, en el estado de Nueva Gales del Sur, a 104 kilómetros al noroeste de la ciudad de Newcastle, que se encuentra a su vez a 160 kilómetros al norte de Sídney (Figura 1.1).



Figura 1.1 Mapa de localización del complejo minero.  
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

El depósito minero se encuentra constituido por 28 vetas, con pendientes que buzan desde los 10 hasta los 45 grados. La actividad extractiva se lleva a cabo en profundidades de hasta 280 metros, lo cual hace del monte Owen la mina de carbón a

cielo abierto más profunda del mundo que se encuentra operativa. La explotación comenzó en 1991 y la cota fue ampliada desde entonces para la exportación de carbón al sureste asiático para uso doméstico y en la producción de acero. Actualmente la zona de explotación ocupa casi 1.700 hectáreas.



Figura 1.2. Foto aérea del complejo minero del Monte Owen. Fuente: Xstrata Coal Australia

La mina se ubica en el *Ravensworth State Forest*, un remanente de bosque esclerófilo de gran importancia compuesto por diferentes especies de eucalipto (*Eucalyptus crebra*, *Eucalyptus fibrosa*, *Eucalyptus moluccana*, *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus punctata*) donde el estrato arbustivo está prácticamente desaparecido debido al pastoreo. En las zonas de vaguada, además se pueden encontrar parches de vegetación propia del

bosque tropical seco. Desde que comenzara la explotación, la mina se ha visto sometida a una rehabilitación progresiva, incluyendo el relleno del hueco dejado tras la extracción del carbón, la restauración del entorno paisajístico, el diseño de la nueva topografía, así como la restauración del ecosistema natural y característico del lugar añadiendo suelo y tierra vegetal de la zona. En 1995 se creó un Plan de Gestión de Revegetación y Fauna con el objetivo principal de restablecer y mejorar los valores ecológicos del *Ravensthorpe State Forest* y sus alrededores. Este plan, sus revisiones y el nuevo Plan de Gestión de la Flora y Fauna del Complejo minero del Monte Owen redactado en 2006, han sembrado las bases para el monitoreo y actuaciones de rehabilitación y restauración en la mina en cuanto a la flora y la fauna.

Por otro lado, el Departamento de Infraestructura, Planificación y Recursos Naturales del gobierno de Nueva Gales del Sur (NSW, 2004) aprobó la ampliación de la actividad minera en el monte Owen con la determinación *Development Application 14-1-2004*, del 8 de diciembre de 2004. Por la cual, al complejo minero del Monte Owen se le requería establecer como una medida de compensación, áreas con el hábitat de reproducción propicio para la rana *Litoria aurea*, así como la constitución de un programa de cría en cautividad y su posterior mantenimiento hasta que se demostrara la viabilidad de la cría del anfibio.

El presente proyecto nace a raíz de los trabajos de recuperación del hábitat de la rana *Litoria aurea* que se han realizado en el complejo minero del Monte Owen. Actualmente se han reconstruido y mejorado algunos humedales y charcas y se han establecido dos zonas de conservación: la Zona de Conservación Norte y la Zona de Conservación Sur, pero no se ha detectado ningún espécimen de *Litoria aurea* en los últimos cinco años. Es por ello que en este trabajo se van a identificar cuales de las masas de aguas existentes en el complejo minero, y no solamente en las zonas de conservación, son las más adecuadas para poder llevar a cabo la reintroducción de individuos de *Litoria aurea*. Para conservar y gestionar adecuadamente *Litoria aurea* es necesario entender y conocer los requerimientos de su hábitat, sólo entonces se podrán controlar los procesos que deterioran y amenazan potencialmente el hábitat e iniciar planes de recuperación (Pyke y White, 1996).

## 1.2.Contexto: *Litoria aurea*

### Descripción

*Litoria aurea* fue una de las primeras ranas en ser descritas en Australia por Lesson en el año 1829 (White y Pyke, 1996). La clasificación taxonómica de esta rana es la siguiente:

|         |          |
|---------|----------|
| Reino   | Animalia |
| Filo    | Chordata |
| Clase   | Amphibia |
| Orden   | Anura    |
| Familia | Hylidae  |
| Género  | Litoria  |

La rana *Litoria aurea*, conocida en inglés como *Green and Golden Bell Frog*, lo que podríamos traducir como rana acampanada verde y dorada, se trata de una rana grande mayoritariamente de color verde con parches marrones, una banda dorada que recorre la rana en su costado y una zona ventral de color crema, siendo característico el color azul que presenta en la parte interior de sus patas posteriores (DECC, 2008b) (Figura 1.3).



Figura 1.3. *Litoria aurea*. Fuente: Peter Jansen, 2008.

Los individuos adultos tienen un tamaño comprendido entre los 60 y 80 mm, aunque los machos suelen ser un poco más pequeños que las hembras, siendo considerado un adulto macho si supera los 50 mm desde la boca al final del cuerpo (*Snout-Vent Length* o SVL) y una hembra adulta cuando supera los 65 mm (White, 1995; Pyke y White, 2001). Otra diferenciación es que los machos presentan una zona amarilla oscura en la garganta cuando llegan a la madurez (White y Pyke, 1996) y además tienen unas almohadillas en los pulgares que utilizan durante la reproducción para sujetar a la hembra (Daly, 1995; Pyke y White, 2001). Los juveniles son similares a los adultos y realizan la metamorfosis cuando miden entre 25 y 30 mm de SVL. Los renacuajos (Figura 1.4) son relativamente grandes llegando a medir desde los 3 mm cuando salen del huevo hasta los 30 mm de SVL justo antes de metamorfosearse (Daly, 1995). La cola de los renacuajos supone prácticamente la mitad de su tamaño, lo cual sugiere una activa vida natatoria (Pyke y White, 2001). Los renacuajos generalmente pesan 2 gramos, mientras que los grandes adultos pueden llegar a pesar 50 gramos o más (Hamer, 1998; Pyke y White, 2001).



Figura 1.4. Renacuajo de *Litoria aurea*. Fuente: Marion Anstis

## Biología

La rana *Litoria aurea* es una rana semiacuática y no arborícola, tiene facilidad para trepar por lo que se le puede encontrar normalmente colgada de la vegetación acuática cercana a los lugares de reproducción o en el agua, siendo activa tanto de día como de noche (Pyke y White, 2001).

## **Reproducción**

La reproducción se lleva a cabo en los calurosos meses del verano austral, desde octubre hasta marzo, en dos fases: la fase de la llamada y el cortejo y la fase del apareamiento y deposición de huevos (Pyke y White, 2001). Los machos realizan la llamada de apareamiento sumergidos parcialmente en el agua sobre todo tras períodos de lluvias y durante la noche (White, 1995). La llamada atrae a la hembra y cuando ésta se encuentra a 10 cm del macho, el macho se acerca y se sube a su espalda colocándose en posición de amplexus (Figura 1.5). Durante el amplexus la hembra colocará los huevos mientras el macho depositará esperma sobre la masa para que se fertilicen (Pyke y White, 2001).



Figura 1.5. *Litoria aurea* en amplexus. Fuente: Alan Henderson.

Las hembras desovan entre tres mil y diez mil huevos embebidos en una masa gelatinosa (Daly, 1995) que flota inicialmente para hundirse entre seis y doce horas después (Amphibia Web), permaneciendo siempre anclada a la vegetación (White y Pyke, 2001). De dos a cinco días después se rompen los huevos y la rana permanece en estado de renacuajo entre diez y doce semanas, aunque el período de desarrollo dependerá de la temperatura del agua (Pyke y White, 2001).

La fase de metamorfosis, en la que reabsorbe la cola y se convierte en un juvenil, dura entre tres y ocho días (Pyke y White, 2001). Para *Litoria aurea*, el estado de juvenil es una fase de crecimiento y desarrollo. Los machos necesitan entre seis y nueve meses para alcanzar la capacidad de reproducción y por tanto el estado adulto, mientras que las hembras necesitan aproximadamente doce meses. Para los machos el estado juvenil finaliza cuando se desarrollan las almohadillas en los pulgares y miden aproximadamente 50 mm, mientras que para las hembras no resulta tan claro (Daly, 1995; Pyke y White, 2001). Hay muy poca información acerca de la longevidad de la especie después de la metamorfosis, en cautividad alcanzan fácilmente los 10 años, llegando a exceder los 15 años en alguna ocasión (Pyke y White, 2001).

Según la teoría de sucesión ecológica “r-k”, *Litoria aurea* presenta una estrategia sucesional tipo “r”. De acuerdo con la misma, las especies que viven en hábitats que son frecuentemente perturbados tienden a exhibir unas características de reproducción que maximizan el crecimiento de la población, es decir que se maximiza el número de descendientes a los que apenas se les dedican cuidados por parte del progenitor (Brookfield, 1986).

## **Comportamiento**

La rana *Litoria aurea* se distribuye espacialmente formando metapoblaciones (Goldingay, 2008). El grado en el que los grupos de individuos interactúan con los que se encuentran situados cerca, define si se tratan de poblaciones, subpoblaciones que forman parte de una metapoblación o parte de una gran y única población (Hastings y Harrison, 1994). Una metapoblación es un conjunto de poblaciones de una especie, distribuidas en parches y aisladas de tal forma que se mantiene un equilibrio entre su intercomunicación y su independencia (López Pérez y Becerril-Morales, 1999) mediante el mecanismo de dispersión, siendo considerada esta especie con fuertes habilidades del mismo (White, 1995; Pyke y White, 1996).

Conocer cuál es el patrón de movimiento espacial de *Litoria aurea* es esencial para entender su dinámica de poblaciones. El rango de amplitud en el que se mueve un adulto de *Litoria aurea* varía entre 100 m<sup>2</sup> si el hábitat proporciona todos los requerimientos de la rana, hasta 700 m<sup>2</sup> si no es de esa manera (Pyke y White, 2001). Hamer et al. (2008) realizaron un experimento y obtuvieron que aproximadamente el 50% de los movimientos se realizaban cercanos a la charca, unos 50 metros a la redonda. La distancia máxima recorrida por un macho fue de 1.100 metros y de 360 metros para una hembra. Normalmente, en los humedales o charcas donde se lleva a cabo la reproducción, los machos son mucho más abundantes que las hembras, mientras que éstas son más abundantes alejadas de la charca (Pyke y White, 2001).

Es fácil ver, entre los meses de septiembre y abril, renacuajos de *Litoria aurea* nadando a 0-30 cm de profundidad, a veces en la base de la vegetación emergente (Pyke y White, 2001). Estas ranas son generalmente activas durante ese período del año, mientras que durante los meses fríos permanecen escondidas e inactivas, por lo que se sugiere que

hibernan durante este período (Daly, 1995). Durante la parte activa del año, las ranas han sido observadas realizando actividades como estar bajo refugio, realizar la llamada de cortejo (normalmente desde el agua), saltar en el suelo, sentarse cerca de la charca, flotar en la superficie del agua y saltar desde la vegetación hacia la tierra o el agua (Pyke y White, 2001). Además, se puede encontrar a la rana *Litoria aurea* sentada al sol y alimentándose en el suelo desnudo y en las zonas de hierba que se encuentran cercanas a las charcas o humedales. A veces, durante largos periodos de lluvia pueden ser encontradas lejos de las masas de agua (Pyke y White, 2001). Las actividades que realiza *Litoria aurea* durante el día se limitan a moverse desde su lugar de refugio al lugar donde toman el sol y raramente se alimentan. Durante la noche son mucho más activas y es cuando realizan las actividades de búsqueda de comida y dispersión (Pyke y White, 2001).

Los individuos se refugian de factores como el sol, el frío, los depredadores u otras ranas. Exhiben este comportamiento durante las horas de luz en los meses cálidos y durante todo el día en los meses fríos. Se ha visto utilizar como refugio diferentes materiales como rocas, vegetación, madera y basuras como pedazos de cemento, ladrillos, vigas de madera, etc. (Pyke y White, 2001). En cuanto a las llamadas, *Litoria aurea* emite tres tipos: llamada de cortejo, la de contacto y la llamada de estrés. Por otro lado, se ha observado que esta rana produce secreciones bioactivas por la piel, que pueden ser irritantes para los ojos del ser humano a la par que resbaladizas (Pyke y White, 2001).

Para *Litoria aurea* se han identificado el comportamiento social y el antisocial. *Litoria aurea* muestra signos de comportamiento social cuando realiza la llamada de cortejo como un coro, pero también presentan comportamiento antisocial territorial ya que los machos necesitan cierto espaciamiento y llegan a agredirse entre ellos (Pyke y White, 2001).

## **Alimentación**

Los renacuajos, en función de su tamaño, se alimentan de detritus, algas y bacterias, llegando incluso a alimentarse de otros renacuajos o insectos muertos. Los adultos tienen una amplia dieta, incluyendo pequeños vertebrados e invertebrados como

lagartos, grillos, cucarachas, libélulas, saltamontes, orugas, babosas, gusanos, moluscos, moscas e incluso juveniles de su misma especie (Pyke y White, 2001). *Litoria aurea* se alimenta de cualquier presa que pueda capturar y quepa en su boca (White, 1995).

## Hábitat

*Litoria aurea* utiliza el hábitat para llevar a cabo las actividades de reproducción, búsqueda de alimento, refugio e hibernación, aunque la manera en que la rana utiliza los componentes del hábitat para estas actividades ha sido muy pobremente descrito. La mayor parte del ciclo vital de la rana está destinada a la reproducción y su hábitat propicio está ligado a unas características concretas que son las que normalmente se utilizan como definidoras de hábitat (Goldingay, 2008). El hábitat de reproducción se define como una masa de agua donde uno o más machos han sido escuchados realizando la llamada, se han observado renacuajos o se han encontrado cinco o más adultos incluyendo individuos de ambos sexos (Pyke et al., 2002). Se sugiere que los requerimientos del hábitat difieren entre estados en Australia. En Nueva Gales del Sur ocupan charcas alteradas por el ser humano debido a que la mayor parte de los sistemas naturales se encuentran de esta manera. (Pyke y White, 2001). En Victoria, en cambio, ocupan hábitats más naturalizados debido a que las masas de agua se encuentran en mejor estado de conservación (Gillespie, 1996). Es por ello que en este estudio se han analizado y examinado proyectos cercanos al complejo minero del Monte Owen, que pertenecen al estado de Nueva Gales del Sur.

Pyke y White (1996) descubrieron que los lugares que mantenían poblaciones reproductoras tenían en común masas de agua calmas, poco profundas, efímeras o semi-permanentes con una fluctuación significativa del nivel del agua (Pyke et al., 2002), no contaminadas y con pocas zonas de sombra (DECC, 2008b). Clulow y Mahony (2006) en un proyecto realizado para la compañía minera que explota el complejo, especificaron que la profundidad de la charca puede ser variable, pero que los bordes de la misma deben ser someros para que la rana pueda llevar a cabo las actividades de reproducción y refugio. No existe una determinación clara en cuanto al tamaño propicio de la charca. Pollard (2009) realizó un análisis en la parte sur del arroyo Haslam en el

parque olímpico de Sydney y obtuvo que cuanto más grande es, mayor porcentaje de agua contiene en la orilla y más individuos puede mantener. También Hamer y Mahony (2010) afirman que cuanto mayor es el tamaño de la masa de agua mayores probabilidades tienen de ser utilizadas por *Litoria aurea* y proponen un tamaño propicio a partir de 5.000 m<sup>2</sup>. En cuanto al perfil de la superficie del suelo de la charca o la forma que adopta la misma en sus orillas, un mayor número de individuos tienden a ocupar charcas con una proporción mayor de perfiles convexos o escalonados que cóncavos o rectos ya que proveen mejores oportunidades de escape frente a un depredador (Pollard, 2009).

El departamento de Medio Ambiente y Cambio Climático del estado de Nueva Gales del Sur, publicó en 2008 una guía para la protección y restauración del hábitat de *Litoria aurea* y una guía con las mejores prácticas en relación con el hábitat (DECC 2008a y 2008b). En estas publicaciones se hace hincapié en la importancia de una vegetación que permita la búsqueda de alimento, refugio y la dispersión. Para ello se recomiendan en las zonas aledañas que existan áreas de hierbas bajas, con grupos de vegetación y apilamientos de rocas, acero o cemento entre otros y zonas abiertas para no restringir el movimiento de los individuos, con especies arbóreas de no más de dos metros de altura (Pyke y White, 1996; Clulow y Mahony, 2006) y con presencia de suelo desnudo para crear heterogeneidad de manera que se mejore la actividad de búsqueda de alimento (Garnham, 2009).

Hamer (2002a) afirma que una rica mezcla de especies de plantas en la zona terrestre y las zonas aledañas a las charcas crea áreas donde la rana puede desarrollar las actividades de búsqueda de alimento y dispersión. La diversidad de la vegetación y su altura en la zona terrestre y en la zona de fluctuación del agua está fuertemente relacionada con la abundancia de *Litoria aurea* (Garnham, 2009).

La presencia de adultos en las charcas está determinada principalmente por la mayor o menor abundancia de algunas especies de plantas que favorecen las actividades de tomar el sol y búsqueda de alimento (Hamer, 2002a). Este autor encontró en su estudio realizado en la Isla Kooragang (Nueva Gales del Sur), que entre los componentes del hábitat que podrían discriminar entre los humedales ocupados por *Litoria aurea*, se encuentra la presencia de especies de plantas como *Juncus kraussii*, *Schoenoplectus*

*litoralis* y *Sporobolus virginicus*, mientras que otras especies como *Azolla* sp., *Cotula coronifolia*, *Pennisetum clandestinum* y *Triglochin procerum* son predictores de su ausencia.

Por otro lado, el DECC (2008b) editó una lista de especies vegetales que son aconsejables cerca de las charcas de reproducción de *Litoria aurea* como *Paspalum distichum* y plantas acuáticas como *Juncus usitatus*, *J. krausii*, *Phragmites* sp. o *Eleocharis sphacelata*. Pyke y White (1996) aconsejan plantas acuáticas emergentes como *Typha* sp., *Eleocharis* sp., *Juncus* sp. o *Phragmites* sp. Clulow y Mahony (2006) observaron que las especies de un tamaño medio alto, como por ejemplo *Typha* sp., *Eleocharis* sp. *Juncus* sp. y *Schoenoplectus* sp, favorecen la presencia de *Litoria aurea*, además la especie *Juncus acutus* es utilizada como un indicador de salinidad, lo cual favorece la presencia de *Litoria aurea* (Clulow y Mahony, 2006).

Garnham (2009) realizó un estudio sobre los requerimientos de hábitat de *Litoria aurea* en el humedal de Narawang, dentro del parque olímpico de Sydney. En él obtuvo resultados como que el sustrato del humedal en las zonas acuática y de fluctuación es preferiblemente fino ya que soporta una vegetación más diversa y apropiada para la presencia de *Litoria aurea* (Pollard, 2009).

Aunque White y Pyke (2008) no encontraron asociación entre la presencia del pez gambusia (*Gambusia holbrooki*) y la extinción de poblaciones de *Litoria aurea*, y Hamer (2002a) tampoco halló diferencias significativas en su estudio estadístico sobre la presencia de la rana en charcas donde se encontró o no el pez gambusia, se recomienda mantener las charcas libres de gambusia para aumentar el rendimiento en la reproducción (Morgan y Buttemer, 1996; DECC, 2008). También es positivo que las charcas se encuentren libres de otros peces depredadores (Pyke y White, 1996), y para ello se recomienda llevar a cabo trabajos de drenaje para eliminarlos (DECC, 2008a).

La presencia de otras especies de ranas y renacuajos en las charcas en la zona de estudio es un indicador de que el hábitat puede ser apropiado para *Litoria aurea* (White y Pyke, 1996; Pyke y White, 2001; Garnham, 2009). En concreto, se ha observado que la comunidad de *Litoria aurea* varía de manera similar que la comunidad de la rana *Limnodynastes peronii* (Pyke y White, 1999; Pyke y White 2001) y que la presencia de

la rana *Litoria fallax* se asocia con la presencia de *Litoria aurea* ya que puede actuar como una fuente de alimento (Garnham, 2009).

También es importante la presencia de determinados invertebrados acuáticos, las larvas de barqueritos (*Notonectidae* spp.) y efemerópteros (*Ephemeroptera* spp.) tienen los mismos requerimientos en términos de calidad de agua que *Litoria aurea*, además pueden ser utilizados como fuente de alimento por la rana. Además, la abundancia de libélulas (*Odonota* spp.) está correlacionada con la abundancia de los anteriores invertebrados (Pollard, 2009).

*Litoria aurea* tolera amplios rangos de propiedades físicas y químicas del agua. Los renacuajos de esta especie han sido encontrados en aguas con diferentes valores de turbidez, oxígeno disuelto, potencial de reducción de oxígeno, pH y temperatura (Pyke y White, 1996). Hamer (2002a) encontró que el rango de pH de las charcas ocupadas por *Litoria aurea* fluctúa entre 6,55 y 10,30, mientras que la salinidad se encontró entre 0,002 y 1,834%. Pollard (2009) afirma que la abundancia de la rana decrece a medida que aumenta el pH, por lo que *Litoria aurea* se encuentra preferentemente en charcas con una tendencia a un pH neutro más que alcalino, estando los valores que se encontraron entre 6,68 y 9,08.

Hamer (2002a) obtuvo que, en cuanto a la distribución espacial de diferentes masas de agua donde se había evidenciado la presencia de *Litoria aurea*, si una charca estaba ocupada por el anfibio, se encontraba dependiente en proximidad de otras charcas. Una charca tenía mayor probabilidad de estar ocupada si las charcas vecinas en 50 metros a la redonda estaban ocupadas por *Litoria aurea*, dos tercios de las charcas que se encontraban ocupadas por la rana estaban situadas a 100 metros de distancia de las otras, lo cual refleja el rango de dispersión y colonización en la zona de estudio (Hamer 2002a). Las charcas deben encontrarse próximas geográficamente para favorecer la dispersión de los individuos de *Litoria aurea* (Clulow y Mahony, 2006) y de esta manera mejorar el ratio de colonización y supervivencia (White y Pyke, 2008).

En un proyecto realizado por Clulow y Mahony (2009) para la compañía minera que explota el complejo del Monte Owen, se establece que los factores más importantes a la hora de reconstruir el hábitat de *Litoria aurea* son una hidrología similar a la natural, el

establecimiento y mantenimiento de una vegetación acuática apropiada para la rana en cuestión y una elevada diversidad de anfibios.

### Distribución y estado de conservación

La distribución natural de *Litoria aurea* se extiende a lo largo de la costa este de Australia, desde el norte de Nueva Gales del Sur y hasta el sur del estado de Victoria, incluyendo poblaciones del interior en las mesetas de Nueva Gales del Sur (White y Pyke, 1996; Pyke y White, 2001). La rana fue introducida en 1860 en Nueva Zelanda, en Nueva Caledonia a finales del siglo XIX y en 1960 en Vanatu y en las islas de Loyalty, Wallis y Futuna (Pyke y White, 2001). En los años 60 la rana era tan común y abundante en Australia que se utilizaba como material de disección en la universidad y alimento para mascotas como las serpientes (NPWS, 1999). Sin embargo, desde 1960 se ha apreciado un declive en la distribución y abundancia (White y Pyke, 1996). Casi todas las poblaciones de las mesetas y del interior en Nueva Gales del Sur se encuentran extinguidas hoy en día, así como muchas de las poblaciones costeras (Daly, 1995; Pyke y White, 2001).

En las siguientes figuras se aprecia la disminución de localizaciones de *Litoria aurea*. De los 96 lugares donde se había registrado la presencia de la rana antes de 1990 (ver figuras 1.6 y 1.7), White y Pyke en 1996 solo pudieron encontrar individuos en 8 de ellas, así como en 18 sitios adicionales previamente desconocidos. Actualmente se encuentra únicamente en el 10% de las localizaciones de su hábitat previo (DEC, 2005).

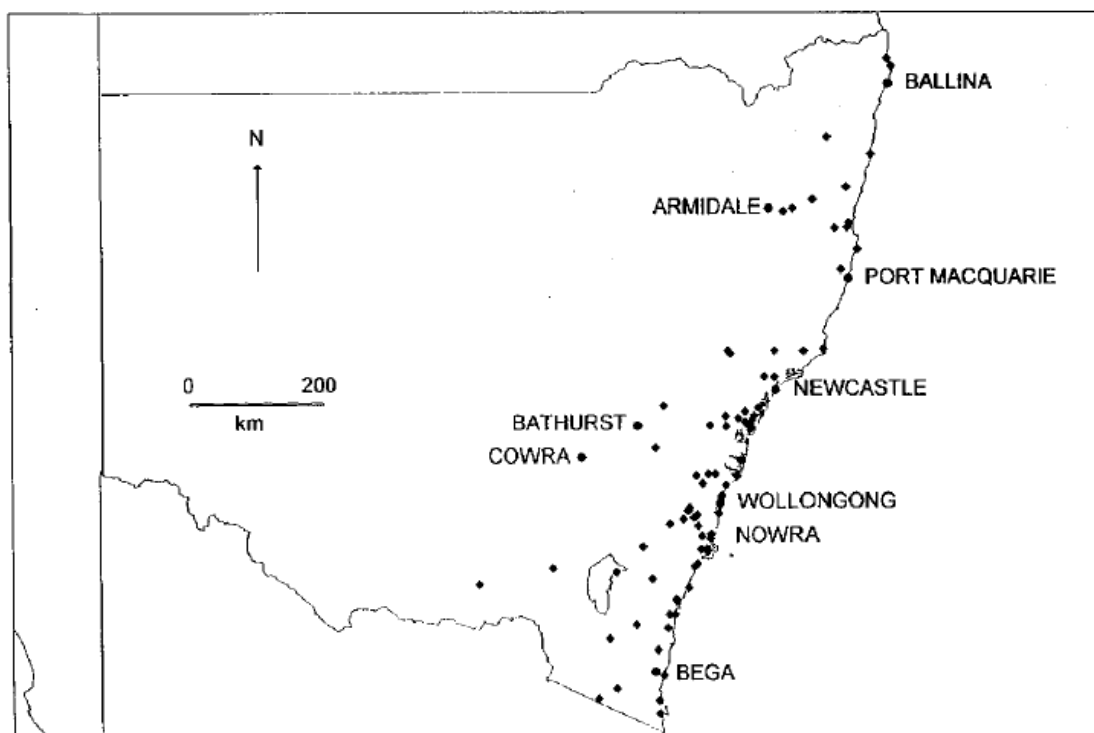


Figura 1.6. Localización de *Litoria aurea* en Nueva Gales del Sur antes de 1990. Fuente: White y Pyke, 1996.

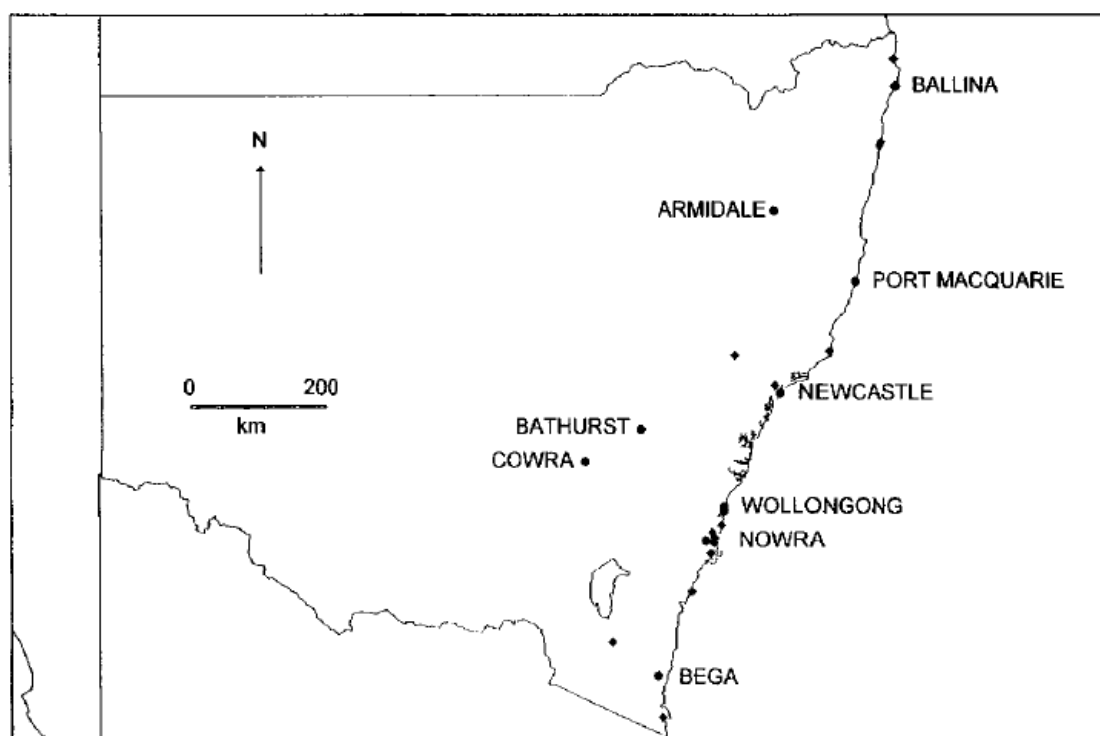


Figura 1.7. Localización de *Litoria aurea* en Nueva Gales del Sur posterior a 1990. Fuente: White y Pyke, 1996.

Debido a esto la especie ha sido catalogada por el Departamento de Medio Ambiente y Conservación (DEC) como “En peligro de extinción” en el estado de Nueva Gales del Sur a través de la *NSW Threatened Species Conservation Act 1995*. Nacionalmente la rana está catalogada como “Vulnerable” por la *Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999 (DEWHA)* del gobierno australiano. A su vez, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza ha catalogado a *Litoria aurea* en su Lista Roja de Especies Amenazadas como especie “Vulnerable” desde el año 2004, lo que significa que existe riesgo de extinción en la naturaleza si se mantienen los factores responsables de su disminución actual (IUCN, 2010).

### Amenazas

Identificar las causas que son determinantes en la extinción de una especie es la clave para poder llevar a cabo la recuperación de la misma (Goldingay, 1996 y 2008). Los factores que potencialmente influyen en la supervivencia de *Litoria aurea* incluyen la alteración de los patrones de drenaje y corrientes (White y Pyke, 1996), el hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis*, la disponibilidad de alimento, la desecación, la depredación y las actividades humanas (Pyke y White, 2001), los cambios en la calidad del agua (Goldingay, 1996), los herbicidas y otras medidas de control de malas hierbas que son vertidas en las redes de drenaje (NPWS, 1999).

Una de las posibles causas de la disminución en la distribución y abundancia de la rana *Litoria aurea* en Nueva Gales del Sur es la introducción y propagación del pez mosquito o gambusia (*Gambusia holbrooki*) (Daly, 1995; White y Pyke, 1996). Este pez fue introducido en Australia en 1925 como control biológico de la larva del mosquito, de tal manera que se ha expandido y es común en la mayor parte de los sistemas de drenaje del sureste de Australia, y en concreto de Nueva Gales del Sur (Gillespie 1996; Hamer et al., 2002b). Para criar satisfactoriamente, *Litoria aurea* requiere preferiblemente charcas que se encuentren libre de gambusia (Morgan y Buttemer, 1996; Pyke y White, 1996) y aunque numerosos estudios concluyen que la presencia de *Gambusia holbrooki* no es un factor completamente limitante (Goldingay, 2008), la tasa

de metamorfosis se ve reducida debido a la depredación del pez sobre los renacuajos (Hamer et al., 2002b).

Otros posibles depredadores de *Litoria aurea* se engloban en una amplia variedad de grupos de animales entre los que podemos destacar: pájaros como *Ardea novaehollandiae*, *Circus approximans* y *Threskiornis aethiopica*; reptiles como *Chelodina longicollis*, *Pseudechis porphyriacus* y *Eulamprus quoyii*; varios tipos de invertebrados acuáticos como escarabajos, escorpiones y larvas y adultos de libélulas. Además, habría que considerar al introducido pez *Perca flutaviatilis* y el nativo *Anguilla spp.*, pájaros como el *Hypseleotoris compressa*, *H. galii*, *Ardea pacifica* y *A. intermedia* (Pyke y White, 2001). La depredación del introducido zorro rojo (*Vulpes vulpes*) ha hecho desaparecer poblaciones de *Litoria aurea* ya que se alimenta de individuos adultos (Daly, 1995).

El incremento de la radiación UV-B debido a la disminución de la capa de ozono y la extrema sequía también se encuentran relacionados con el declive de *Litoria aurea* (White y Pyke, 1996), aunque no explican la gran disminución que ha sufrido la especie en las últimas décadas. Diferentes experimentos llevados a cabo por Morgan y Buttemer (1996) sugieren que aunque los renacuajos prefieren un ambiente libre de radiación UV-B, los adultos no muestran preferencia y los diferentes tratamientos no arrojaron diferencias significativas que explique la desaparición de *Litoria aurea*. Los cambios en el clima a largo plazo tampoco parecen responsables del declive de esta rana debido a que la especie ha desaparecido tanto de lugares que se secaron como de aquellos que aún permanecen con agua. El cambio climático tampoco parece afectar debido a que no ha habido ningún cambio en los límites norte o sur en el rango de la especie (Pyke y White, 2001).

Aunque aún no ha quedado clara la influencia del hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis* que causa la enfermedad conocida como quitridiomicosis, el riesgo debe ser considerado y se deben tomar acciones preventivas (NPWS, 2001) ya que ha sido y es responsable del declive de otras especies de anfibios y ha sido encontrado en algunas poblaciones de *Litoria aurea* (Pyke y White, 2001). El patógeno se extiende entre los renacuajos y ranas por contacto directo así como a través de la columna de agua. De

hecho, fue identificado como el causante del fracaso de una reintroducción realizada en un humedal en el estado de Nueva Gales del Sur (Stockwell, 2008).

La pérdida del hábitat es una gran amenaza porque los propietarios de los terrenos donde se encuentra *Litoria aurea* no tienen, normalmente, entre sus objetivos la conservación de esta especie (Pyke y White, 2001). La actividad humana puede ser también responsable directa de esta desaparición, sobre todo en zonas donde las rutas de dispersión de las ranas se cruzan con carreteras y se producen colisiones y atropellos de las mismas (Pergolotti, 1995).

Aunque no existe un factor claramente causante de la desaparición de *Litoria aurea*, algunos autores consideran que de todos ellos, la depredación por parte del pez gambusia, la presencia del hongo patógeno y la destrucción del hábitat han sido los más importantes e influyentes en su desaparición. (Pyke y White, 2001; Goldingay, 2008).

### 1.3. Antecedentes

#### Charcas en el Monte Owen

Las evidencias de presencia de *Litoria aurea* en el bajo valle del río Hunter, donde se localiza el complejo minero del monte Owen, consisten en un pequeño número de ejemplares detectados entre los años 1994 y 2000, y muy pocos desde entonces. Esta población del río Hunter, que quizás se trate de una metapoblación, se sitúa en el límite oeste de la distribución actual de la especie, la cual se encuentra confinada a pequeñas comunidades costeras. La tendencia en este área es que *Litoria aurea* se localice en pequeñas y aisladas poblaciones (Clulow y Mahony, 2007). En el Monte Owen desde 1994 y hasta 2008 se han detectado 15 especies de anfibios diferentes, *Litoria aurea* es considerada rara en abundancia mientras que otras especies indicadoras como *Limnodynastes peronii*, *Litoria peronii* y *Litoria fallax* son descritas como poco, bastante y muy abundantes respectivamente (Murray y Clulow, 2009).

En el complejo minero del Monte Owen existen diferentes grupos de charcas que se han convertido, gracias al trabajo del Departamento de Medio Ambiente de *Xstrata Coal Australia* y el Departamento de Anfibios de la Universidad de Newcastle, en hábitats donde podrían criar *Litoria aurea* y otras especies de ranas. El proyecto presente se centra en catorce charcas que pertenecen a tres áreas separadas en el espacio: la zona de conservación sur, la zona de rehabilitación y la zona de la última llamada.

En la figura 1.8 se puede apreciar donde se localiza cada una de las zonas estudiadas dentro del complejo minero del Monte Owen. Además, el anexo 6 contiene un reportaje gráfico donde se pueden consultar cada una de las catorce charcas.



Figura 1.8. Localización de las zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

### Zona de Conservación Sur

La ampliación de la actividad minera en el Monte Owen fue aprobada mediante la determinación *Development Application 14-1-2004*, por la cual se requerían establecer como medidas de compensación, áreas con el hábitat de reproducción propicio para la rana *Litoria aurea*. La zona de conservación sur fue seleccionada para formar parte de este estudio debido a que las charcas individualmente obtuvieron un alto resultado en el índice de hábitat para *Litoria aurea* creado por Murray y Clulow (2009).

Para compensar la pérdida de charcas en el arroyo Betty debido a la actividad minera, en el año 2006 se modificaron y/o construyeron cuatro charcas permanentes en esta zona (S1, S2, S3 y S4). Éstas fueron modificadas siguiendo las claves que se exponen a continuación, siendo comparadas con tres charcas “control” (CS1, CS2 y CS3) para identificar diferencias en su utilización por parte de las ranas (Clulow y Mahony, 2006):

- 1- Las charcas deben ser más o menos permanentes o persistentes, de gran tamaño y asociadas a otras masas de agua que se encuentren relativamente cercanas.
- 2- La estructura de la charca debe consistir en zonas abiertas con agua combinadas con alta y emergente vegetación que la borde, de manera que proporcione refugio, alimentación y lugares de descanso.
- 3- Las charcas deben presentar islas de vegetación emergente y apilamientos de escombros o rocas para proporcionar refugio adicional.
- 4- El ganado debe ser excluido del área para reducir el número de anfibios muertos por pisoteos y el alto aporte de nutrientes al agua que supone.
- 5- La zona adyacente que provee alimento y corredores de dispersión no debería estar reforestada muy densamente, es preferible mantener características de un bosque o terreno abierto intercalado con rocas, maderas o grupos de vegetación.
- 6- Eliminación del pez gambusia (*Gambusia hoolbrokii*) mediante drenaje sistemático cuando sea detectado en alguna de las charcas.

El conjunto de charcas es parte de la zona de captación del arroyo Main y está asociado a una línea de drenaje que alimenta al mismo arroyo. El área adyacente se compone de zonas de pasto o de bosque abierto de baja densidad y una línea de drenaje que contiene numerosas masas de agua de pequeño tamaño con grandes formaciones del junco introducido *Juncus acutus*. Éste indica cierta salinidad y favorece a *Litoria aurea* porque aumenta sus posibilidades de supervivencia frente a la quitridiomycosis (Clulow y Mahony, 2006; Murray y Clulow, 2009). Todas las charcas se encuentran valladas, a excepción de CS1, para evitar que el ganado penetre en las inmediaciones y beba agua de las mismas. La presencia de vacas en la charca anteriormente mencionada es habitual.

Las razones por las que Clulow y Mahony (2006) seleccionaron esta ubicación fueron porque se encontraba situada en una zona de conservación de biodiversidad declarada por el gobierno de Nueva Gales del Sur, la proximidad al arroyo Betty, la cercanía a la charca donde se escuchó por última vez un macho en 2005 y la similitud a la red de

drenaje original. Las acciones que se llevaron a cabo en las cuatro charcas fueron las siguientes (Clulow y Mahony, 2006; Murray y Clulow, 2009):

- Sur 1 (S1): Expansión del perímetro por excavación, creación de una isla central cubierta de carrizo, colocación de apilamientos de rocas en el borde de la charca, plantaciones de vegetación emergente y modificación del área.
- Sur 2 (S2): Expansión del perímetro, colocación de apilamientos de rocas en el borde de la charca y modificación del área.
- Sur 3 (S3): Colocación de apilamientos de rocas en el borde de la charca y modificación del área.
- Sur 4 (S4): Expansión del perímetro por excavación, creación de una isla central cubierta de carrizo, colocación de apilamientos de rocas en el borde de la charca, plantaciones de vegetación emergente y modificación del área.

Se puede observar su localización en la figura 1.9, así como de las tres charcas “control”: control sur 1 (CS1), control sur 2 (CS2) y control sur 3 (CS3). Estas charcas sin modificar presentan un hábitat con características similares a cualquier humedal o masa de agua en otra localización que pueda ser utilizado por *Litoria aurea* (Clulow y Mahony, 2007).



Figura 1.9. Localización de las charcas en la zona de conservación sur. Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth.

Las charcas fueron diseñadas para que fueran autosostenibles después de que concluyera la fase de establecimiento de las mismas. En los primeros años tras las modificaciones se realizaron muestreos anuales de la vegetación, hidrología y comunidades de anfibios presentes, así como la presencia del pez gambusia (*Gambusia hoolbrokii*). En 2006 cuando se establecieron las charcas, el pez gambusia se encontraba en S1, S2, S3 y S4, tras un período de sequía en 2007, tan solo sobrevivió en S2 (Murray y Clulow, 2009).

Las charcas de las zonas de conservación han sido monitorizadas mensualmente cada año desde agosto hasta abril en búsqueda de la presencia de *Litoria aurea* (Clulow y Mahony, 2006 y 2007).

## Zona de Rehabilitación

La zona de rehabilitación tras la actividad minera fue muestreada en el año 2008, desde octubre hasta diciembre, para localizar líneas de drenaje y sistemas de charcas que pudieran mantener comunidades de anfibios. Una serie de masas de agua fueron identificadas en la ladera del área rehabilitada, con una hidrología, estructura y vegetación capaces de mantener un amplio rango de especies de ranas. Se encontraron ocho charcas, pero en este estudio tan sólo se han tenido en cuenta aquellas que obtuvieron una puntuación lo suficientemente alta para ser consideradas aptas para el hábitat de *Litoria aurea* (Clulow y Mahony, 2009): rehabilitación 4 (R4), rehabilitación 5 (R5), rehabilitación 7 (R7) y rehabilitación 8 (R8). Adicionalmente, se encontró otra charca en las inmediaciones de las anteriores y pasó a formar parte del estudio con el nombre de “nueva charca” (NC), haciendo un total de cinco charcas en esta zona, como se puede ver en la figura 1.10.



Figura 1.10. Localización de las charcas en la zona de rehabilitación. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Las charcas presentan vegetación emergente con áreas abiertas de agua, rocas y piedras para que las ranas tomen el sol y se refugien, y una zona adyacente desprovista de árboles con zonas de suelo desnudo y varias coberturas de hierbas y arbustos. Además la elevada salinidad favorece la presencia de anfibios porque los protege de la infección del hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis* (Murray y Clulow, 2009).

Siete de las quince especies de ranas identificadas en el complejo minero fueron detectadas en la zona de rehabilitación, así como renacuajos, lo cual indica que las ranas se están reproduciendo en esas charcas. Algunas de las especies identificadas fueron *Litoria peronii* y *Litoria fallax*. Las especies principales que componen las comunidades de ranas en lugares no alterados por la actividad minera fueron encontradas en la zona de rehabilitación (Clulow y Mahony, 2009).

### **Zona de la Última Llamada**

*Litoria aurea* ha sido encontrada en un pequeño número de lugares a lo largo del arroyo Betty en el Monte Owen, pero su presencia no ha sido confirmada desde 1999 (Clulow y Mahony, 2006). Fue identificada en los años 1994, 1996, 1997 y 1998, y aunque se escuchó un macho cantando en agosto de 2005, no se encuentra confirmado y se cree que se debe a un individuo en tránsito (Murray y Clulow, 2009).

La zona de la última llamada está compuesta por dos charcas únicamente y se corresponden a las masas de agua donde se identificó *Litoria aurea* en los años 1996 y 1999 (U96 y U99). Se han querido tener en cuenta estos dos posibles hábitats propicios para la rana debido a que son los últimos lugares donde se ha detectado su presencia.



Figura 1.11. Localización de las charcas en la zona de la última llamada. Fuente elaboración propia a partir de Google Earth.

### Reintroducción y cría en cautividad

Los proyectos de reintroducción consisten en la liberación de especímenes criados en cautividad en lugares donde una vez habitaron, y han sido utilizados en conservación para reducir el riesgo de extinción de las especies estableciendo nuevas poblaciones en áreas donde han desaparecido o disminuido en número (IUCN, 1987). Los proyectos de reintroducción para anfibios están ampliamente implantados, siendo los resultados muy positivos o positivos en dos tercios de los casos (IUCN, 2008). En general, los anfibios son muy buenos candidatos para este tipo de proyectos ya que su comportamiento es sencillo, los especímenes pueden ser liberados sin previo entrenamiento y presentan un alto nivel reproductivo permitiendo que se establezcan grandes poblaciones (Bloxam y

Tonge, 1995). En concreto, *Litoria aurea* cumple todos los requisitos para ser una especie apropiada para reintroducir (IUCN, 2007).

Se considera que las condiciones de las charcas presentes en el Monte Owen son adecuadas para la reproducción de *Litoria aurea* desde diciembre de 2007, aunque la recolonización espontánea no se ha llevado a cabo (Murray y Clulow, 2009). Clulow y Mahony (2006) sugieren otras estrategias si la recolonización natural no ocurriera en un tiempo razonable de dos o tres años a partir de 2006: la reintroducción de especímenes procedentes de otras poblaciones que se encuentren geográfica o genéticamente cercanas a los individuos del Monte Owen, de poblaciones naturales que hayan adquirido resistencia a la enfermedad o de programas de cría en cautividad que se basen en selección por resistencia a la misma. Otros autores proponen que si la rana no se encuentra en los alrededores de los hábitats recién creados, los individuos de *Litoria aurea* deberían ser traslocados al lugar (Goldingay, 1996; Pyke y White, 2001). La determinación DA-14-1-2004 sugiere la constitución de un programa de cría en cautividad de cualquier población de *Litoria aurea* perteneciente al complejo minero del Monte Owen y la reintroducción de los especímenes si fuera necesario, pero hasta la fecha, no se ha encontrado una fuente que proporcione individuos de esta rana en el Monte Owen (Clulow y Mahony, 2009).

La Universidad de Newcastle tiene el permiso y las facilidades para llevar a cabo el programa de cría en cautividad. Desde 2004, aproximadamente 1.000 ejemplares de *Litoria aurea* han sido criados y liberados como parte de un proyecto de reintroducción. También se está considerando realizar estos programas de cría en el Zoo de Taronga, donde ya se han realizado este tipo de experiencias (Clulow y Mahony, 2007), así como en el *Australian Reptile Park*. Estos programas incluyen el mantenimiento de la diversidad genética y determinan los requerimientos para la reproducción en demanda de los posibles proyectos de reintroducción que se acometan (DEC, 2005).

La reintroducción de *Litoria aurea* en hábitats rehabilitados o construidos específicamente se ha realizado en lugares como Botany, Marrickville, Collaroy, Arncliffe, Pambula y en el *Hunter Wetlands Centre* (DEC, 2005; Daly et al., 2008; Stockwell et al., 2008). El éxito de los proyectos fue variable, mientras que en Botany la población perduró durante años, en Marrickville la reintroducción fue un éxito al

principio alcanzándose una población autosuficiente hasta que fracasó por una infección del hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis* (DEC, 2005), al igual que en el humedal *Hunter Wetlands Centre* (Stockwell et al., 2008).

## 1.4. Objetivos

### Objetivo principal

- Recuperación de la población de *Litoria aurea* en el complejo minero del Monte Owen mediante la reintroducción de especímenes.

### Objetivos específicos

- Caracterización física y biológica de las charcas presentes en tres zonas del complejo minero del Monte Owen.
- Identificación de las variables clave del hábitat de reproducción de *Litoria aurea*.
- Selección de las charcas o grupo de las mismas donde es más recomendable realizar la reintroducción de la rana *Litoria aurea*.
- Mejora de las características del hábitat en las charcas seleccionadas para facilitar el éxito de la reintroducción.

## **2. Metodología**

### **2.1.Revisión bibliográfica**

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica con el objetivo de conocer las variables que influyen en crear el hábitat de reproducción más propicio para la rana *Litoria aurea*. Para ello se consultaron tres tesis realizadas en la Universidad de Newcastle basadas precisamente en determinar las características que definen el hábitat de la mencionada rana en tres localizaciones diferentes dentro del estado de Nueva Gales del Sur: dos de ellas en el parque olímpico de Sídney (Garnham, 2009; Pollard, 2009) y la tercera en la isla Kooragang (Hamer et al., 2002a).

Se consultaron adicionalmente los informes realizados por el personal del Departamento de Anfibios de la Universidad de Newcastle para la compañía minera Xstrata (Clulow y Mahony 2006, 2007; Murray y Clulow, 2009) y además, fueron considerados los trabajos realizados por Pyke y White, dos de los mejores especialistas en anfibios de Australia, expertos en la *Litoria aurea*, que trabajan para el Museo Australiano (White y Pyke, 1996; Pyke y White 1996 y 2001). También fueron consultadas las recomendaciones sobre mejores prácticas y manejo del hábitat de *Litoria aurea* publicadas por el Departamento de Medio Ambiente y Cambio Climático de Nueva Gales del Sur (DECC, 2008a y 2008b). Así como diferente bibliografía sobre *Litoria aurea* y las características influyentes en el hábitat de reproducción de la rana en cuestión.

### **2.2.Muestreos en el campo**

Las visitas de campo en el complejo minero del Monte Owen, perteneciente a la compañía minera Xstrata, fueron llevados a cabo durante los días 28 de Octubre, 13 de Noviembre, los días 2, 15 y 18 de Diciembre de 2009, el 19, 27 y 29 de Enero y el 2 de Febrero de 2010. Las fichas de campo que fueron utilizadas en los muestreos pueden ser consultadas en el anexo 3.

La información que se recogió en los muestreos fue clasificada en cinco categorías según su naturaleza: características generales, vegetación, características físicas, fauna y calidad de agua (anexo 1). A continuación se explican cada una de estas categorías.

### Características Generales

Se analizaron las características correspondientes al área de la charca, el área ocupada por la lámina del agua y el área cubierta por rocas, la forma de la charca, la profundidad, la temporalidad (si es efímera o permanente), la distancia a la charca más cercana, la distancia media entre todas las charcas y el tipo de vegetación circundante a la charca (ver anexo 1).

La localización de los humedales, así como el área y superficie de los mismos se obtuvo con un GPS (Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés) Trimble® GeoXH™. Los humedales fueron recorridos a pie siguiendo el máximo nivel de agua en ese momento y la línea de máxima fluctuación. Los datos tomados con el sistema de posicionamiento global fueron tratados con el programa informático GPS Pathfinder Office 3.10 (Trimble®).

Las mediciones de profundidad media a un metro del borde del agua y la profundidad en el centro de la charca fueron proporcionadas por el Departamento de Anfibios de la Universidad de Newcastle. No se disponen de datos de la charca nueva perteneciente a la zona de rehabilitación.

Una descripción general de la zona fue realizada al comienzo de cada muestreo. Se realizó un análisis de la vegetación del área alrededor de las charcas así como el área total ocupada por agua. Complementariamente se estimó también el área total de la charca cubierta por rocas siendo las dimensiones extrapoladas utilizando el programa ArcGis 9.3 y la fotografía aérea proporcionada por la empresa Xstrata Coal Australia, datada en diciembre de 2008.

Se realizó un análisis de la distribución espacial de los humedales midiendo la mínima distancia desde el límite de la zona de fluctuación de cada charca al límite de la zona de fluctuación de la charca más cercana, siempre en línea recta e individualmente para cada

uno de los tres grupos de charcas dentro del complejo minero. De la misma manera, se midió la distancia media de cada charca a todas las demás, sin tener en cuenta aquellas que presentan un obstáculo, como por ejemplo un arroyo, que los anfibios no serían capaces de superar.

Al igual que las variables anteriormente mencionadas, las distancias fueron tomadas usando los datos obtenidos con el GPS y procesados con el programa informático GPS Pathfinder Office 3.10 (Trimble®).

Para cuantificar la forma de las diferentes charcas se utilizó el índice de Patton (Patton, 1975) por el cual se relaciona el perímetro y el área de la zona de fluctuación por un lado y la zona acuática de las charcas por el otro.

El índice de forma de Patton es el siguiente: 
$$IF = \frac{P}{2\sqrt{A \cdot \pi}}$$

Donde P es el perímetro expresado en metros y A el área expresada en m<sup>2</sup>. IF toma valores entre 1 (siendo un círculo perfecto, que es la figura geométrica con el mayor área y el menor perímetro) e infinito (siendo una forma completamente irregular y amorfa) y es invariante de escala (Patton, 1975).

Las charcas fueron clasificadas según el índice de Patton en 5 categorías (Henao, 1988):

| <b>Índice de Patton</b> | <b>Forma de la charca</b> |
|-------------------------|---------------------------|
| IF < 1.25               | Redondo                   |
| 1.25 > IF < 1.5         | Oval - redondo            |
| 1.51 > IF < 1.75        | Oval - oblongo            |
| 1.76 > IF < 2           | Rectangular               |
| FI > 2                  | Amorfo                    |

La variable de temporalidad se refiere a si las charcas son efímeras o permanentes a lo largo de todo el año. Los datos históricos fueron proporcionados por el Departamento de Anfibios de la Universidad de Newcastle y comprobados *in situ* en las visitas de campo.

## Vegetación

### **Identificación de especies vegetales**

Para la identificación de las especies vegetales se recogieron ejemplares de los diferentes individuos que fueron encontrados en los humedales para su posterior clasificación y ordenación en un herbario. Las especies fueron identificadas consultando los cuatro volúmenes de Harden (1991, 1992, 1993 y 2000) sobre la flora en Nueva Gales del Sur y la página web del Herbario Nacional de Nueva Gales del Sur (PlantNET).

### **Muestreo de la vegetación**

La información recogida medida dentro de la categoría “Vegetación” es la correspondiente al porcentaje de cobertura de las especies de plantas más comunes, la altura y el grosor medio de las mismas, así como la riqueza y diversidad de especies (ver anexo 1).

Las charcas fueron divididas en tres zonas que proveen diferentes ambientes a *Litoria aurea* para llevar a cabo sus actividades vitales: la zona acuática, la zona de fluctuación y la zona terrestre (Figura 2.1) (Granham, 2009; Pollard, 2009). La zona acuática es donde los machos exhiben su llamada para atraer a la hembra y donde las hembras depositan los huevos fecundados. La zona de fluctuación del agua es utilizada por los adultos para tomar el sol durante el día. La zona terrestre es utilizada para buscar alimento (Pyke y White, 1996).

La zona acuática corresponde a la franja de un metro a cada lado del borde de agua que se encontró en el momento en el que se llevó a cabo el muestreo, es decir, un metro hacia el exterior del agua y un metro hacia el interior del agua. La zona de fluctuación del agua ocupa la franja a partir de la zona acuática hasta donde se percibe un claro cambio en la vegetación, lo cual marca el comienzo de la zona terrestre. La zona terrestre es considerada desde el final de la zona de fluctuación del agua y tiene una anchura de 4 metros (ver figura 2.1).

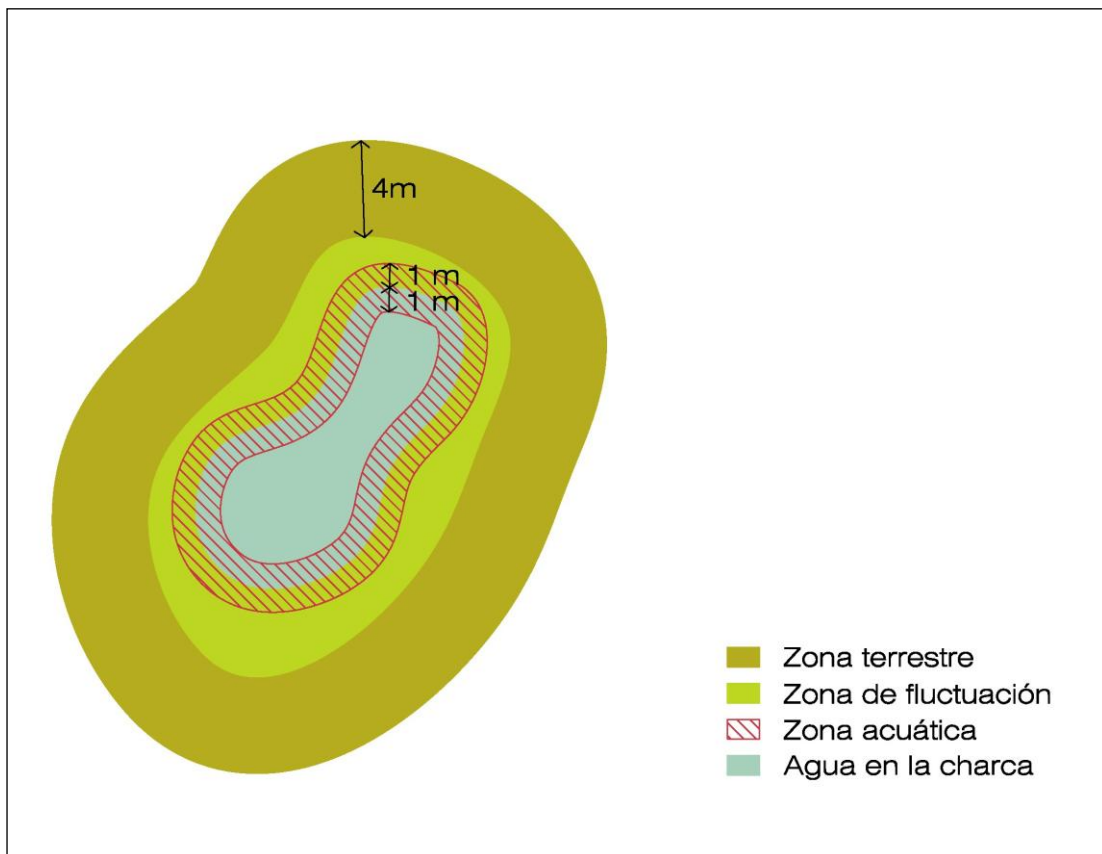


Figura 2.1. División de los humedales en tres zonas. Fuente: elaboración propia.

Algunas de las charcas consideradas en el estudio se encontraron ausentes de agua en el momento del muestreo debido al seco y caluroso verano en Nueva Gales del Sur. En esos casos se tomó como referencia la línea formada por *Typha sp.* para delimitar la zona acuática y *Juncus sp.* como la línea imaginaria para demarcar la zona de fluctuación del agua.

Se muestreó el 5% del perímetro del borde de agua encontrado en cada charca, utilizando los datos recogidos con el GPS de las dimensiones de la charca. Se calculó la cantidad de cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> necesarios en cada charca y los pasos necesarios entre cuadrante y cuadrante para cubrir el perímetro completamente. Los cuadrantes fueron fabricados con tuberías de policloruro de vinilo (PVC) de un metro de longitud por cada lado.

De esta manera se caminaba a lo largo de la línea imaginaria que separa la zona acuática de la zona de fluctuación del agua, lanzando aleatoriamente y hacia atrás los cuadrantes: el primero en la zona acuática, el segundo en la zona de fluctuación y un tercero en la zona terrestre. En cada cuadrante se estimó visualmente el porcentaje de cobertura de cada especie (con una presencia de más de un 1%) y se midió la altura media de las mismas con una cinta métrica de 2 metros. Posteriormente se calculó la altura media ponderada para cada zona dentro del humedal en función del porcentaje de cobertura.

Para eliminar al máximo la subjetividad, la estimación visual del porcentaje de cobertura de las diferentes especies vegetales presentes fue realizada en cada humedal en consenso por dos personas.

Como excepción, en la charca “Última llamada 1999” se encontró una zona de suelo desnudo artificial debido a encontrarse cercano a una zona de construcción de la mina. Esa parte de la charca no fue muestreada ya que se consideró que alteraría los resultados normales del resto de la vegetación. De esta manera se muestreó un 4% del perímetro de las charcas.

La lista completa de las especies vegetales muestreadas puede ser consultada en el anexo 4.

Posteriormente, con los datos obtenidos sobre el número de especies vegetales y el porcentaje de cobertura de las mismas se hallaron los índices de riqueza y la diversidad para cada una de las tres zonas en las que se dividieron las charcas. La riqueza de especies se expresa mediante el número total de especies presente (Spellerberg, 2005) mientras que la diversidad se expresó utilizando el índice de diversidad de Simpson:

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)},$$

Donde S es el número de especies, n es el porcentaje de cobertura de la especie i y N es el porcentaje total de cobertura vegetal. El índice de Simpson varía entre 1 y 0, representando 1 infinita diversidad y 0 ninguna diversidad (Simpson, 1949). Suele ser expresado como 1/D para que la mayor diversidad aumente con el valor de los números y sea más visualmente comprensible (Krebs, 1999).

El grosor de cada planta fue calculado como el diámetro del tallo a una altura media. Las medidas fueron realizadas en el laboratorio con una regla convencional en los ejemplares recogidos en los humedales del complejo minero del Monte Owen y que fueron clasificados y ordenados en un herbario.

### Características Físicas

Se refieren al perfil y la pendiente de la charca y la clasificación textural del suelo. Igualmente, se estimó visualmente el porcentaje de cobertura de rocas, agua, vegetación muerta y suelo desnudo en cada zona del humedal (ver anexo 1).

Dentro de los cuadrantes anteriormente mencionados donde se midió la vegetación, se midieron también las variables correspondientes a las características físicas: el perfil de la superficie del suelo, el ángulo del suelo y la clasificación textural del mismo. Dentro de esta categoría, y paralelamente al resto de muestreos, se estimó visualmente el porcentaje de agua, rocas, vegetación muerta y suelo desnudo en cada cuadrante.

El perfil de la superficie del suelo fue estimado visualmente en cada cuadrante y clasificado según cinco categorías: cóncavo, recto, convexo, escalonado y arado (figura 2.2).

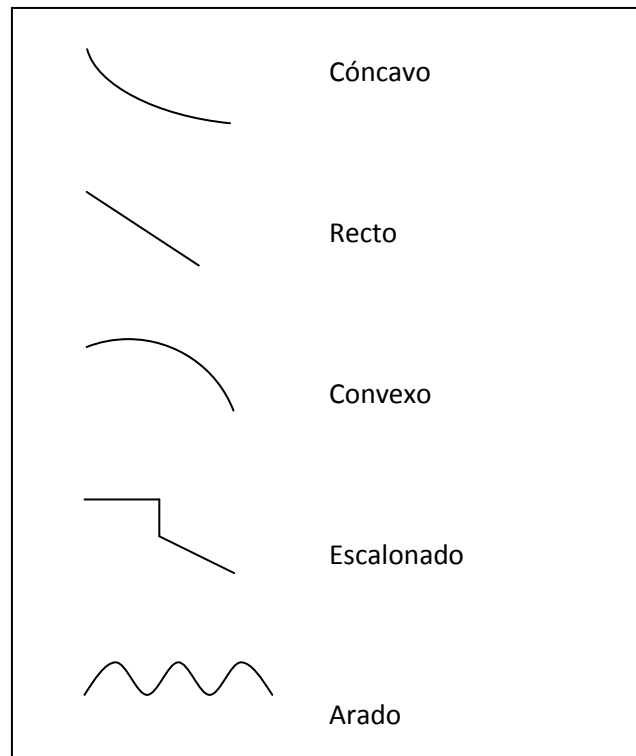


Figura 2.2. Clasificación del perfil de la superficie del suelo.

El ángulo del suelo fue calculado matemáticamente utilizando el valor resultante de colocar en posición horizontal, con la ayuda de un nivelímetro, una vara de un metro de longitud y medir la altura con el suelo. Se calcula la arcotangente de la división de esa medida entre la longitud de la vara, y de esa manera se obtiene el valor del ángulo (figura 2.3).

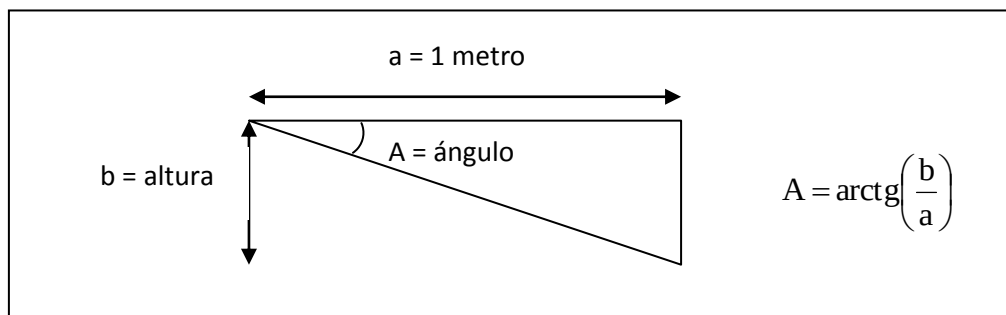


Figura 2.3. Cómo obtener el ángulo del suelo.

Los resultados de los ángulos obtenidos se clasificaron dentro de los siguientes rangos: 0°-10°, 11°-20° y mayor de 20°.

La textura del suelo fue analizada en el centro de cada cuadrante tomando una muestra con la ayuda de una pala de jardinería. Las muestras fueron humedecidas con agua de la propia charca y clasificadas manualmente según el tamaño del grano y su plasticidad en las siguientes categorías texturales: grava, arena, limo, arcilla y fango. En el caso de las charcas que se encontraron sin agua, las muestras fueron llevadas al laboratorio para poder humedecerlas convenientemente.

La estimación visual del porcentaje de cobertura de los diferentes elementos presentes en los cuadrantes fue realizada por consenso entre dos personas para reducir la subjetividad debida al muestreador.

## Fauna

Se estimó la diversidad y riqueza de especies de anfibios, la presencia de otras especies de ranas y la presencia de insectos y peces (anexo 1).

### **Anfibios**

Los muestreos de anfibios fueron llevados a cabo el día 13 de Noviembre desde el anochecer hasta las primeras horas de la madrugada debido a que es el momento del día donde los anfibios presentan máxima actividad, además el mes de Noviembre coincide con la época de reproducción de *Litoria aurea* (Pyke y White, 2001) y es mucho más sencillo detectar su presencia visualmente y/o mediante su canto. Los datos históricos de presencia de anfibios en las charcas, así como la diversidad (expresada como el índice de diversidad de Simpson) y riqueza de especies han sido suministrados por el Departamento de Anfibios de la Universidad de Newcastle. Sin embargo, debido al descubrimiento de una nueva charca en la zona de rehabilitación mientras se realizaban los muestreos de este proyecto, no existen datos sobre diversidad de anfibios, riqueza y presencia de las diferentes especies en la misma. Tampoco existen datos de la

diversidad de anfibios en las demás charcas de la zona de rehabilitación ya que los datos proporcionados no son cuantitativos sino de presencia o ausencia.

Se realizaron dos tipos de muestreos para conocer la abundancia relativa de anfibios entre los diferentes humedales que se sometieron a estudio: muestreo auditivo y muestreo visual (Daly, 1995). Con el muestreo auditivo se detectó la presencia de las especies de ranas mediante su canto, para ello, durante los primeros dos minutos (en silencio y con las linternas frontales apagadas) se escuchó atentamente para identificar los cantos correspondientes a los machos de las distintas especies de anfibios. A continuación mediante la ayuda de un altavoz se reprodujo el canto de la rana *Litoria aurea* durante 30 segundos y se escuchó atentamente durante otros 30 segundos más para detectar alguna respuesta ya que las ranas responden a la imitación (NPWS, 2003). El proceso fue repetido una segunda vez. A continuación, se llevó a cabo el muestreo visual para el cual se recorre el perímetro de la charca para detectar la presencia de individuos, las tres zonas en las que se han dividido los humedales fueron cubiertas ya que las ranas se pueden encontrar en cualquiera de ellas (Goldingay, 2008). La detección de los individuos se realizó por el reflejo de la luz de los frontales en los ojos de las ranas o por identificación del cuerpo con la ayuda de una linterna.

Durante las salidas diurnas de campo también se identificaron visualmente individuos adultos y renacuajos de diferentes especies de anfibios.

## **Insectos**

En cada charca se detectó la presencia de tres grupos de invertebrados acuáticos mediante la observación directa con la ayuda de una guía de campo (Gibb y Oseto, 2006): libélulas (orden Odonata), efemerópteros (orden Ephemeroptera) y barqueritos (familia Notonectidae).

Debido a que las charcas R4, R5, R7 y R8 se encontraban secas cuando se produjo el muestreo, no existen datos correspondientes a la presencia de insectos.

## **Peces**

Mediante la observación directa se detectó la presencia o ausencia de larvas o alevines en las charcas sometidas a estudio. En concreto se trató de identificar individuos de la especie *Gambusia holbrooki*, que es considerada una de las causas del declive de la población de *Litoria aurea* al ser depredadora de sus huevos (Daly, 1995; White y Pyke, 1996).

Debido a que las charcas R4, R5, R7 y R8 se encontraban secas cuando se produjo el muestreo, no existen datos correspondientes a la presencia de peces.

## **Calidad del Agua**

Con respecto a la calidad del agua, la información recogida se refiere al pH y a la salinidad media del agua de los humedales, como se muestra en el anexo 1.

Tres muestras de 50 ml de agua fueron tomadas en cada humedal para analizar el pH. Las tres muestras fueron tomadas distribuidas a lo largo del perímetro del borde de la charca y transportadas al laboratorio donde fueron conservadas en un frigorífico entre dos semanas y un día (en función del día en el que fueron tomadas en el campo) hasta su posterior análisis.

En el laboratorio las muestras fueron analizadas con un pH-metro SevenMulti™ S70 de la marca Mettler Toledo, y con los tres resultados obtenidos se calculó la media para cada charca.

En las charcas que estaban secas en las fechas de muestreo no fue posible tomar las muestras de agua para su posterior análisis del pH, así que los datos fueron proporcionados por el Departamento de Anfibios de la Universidad de Newcastle.

Los valores de salinidad expresados como partes por mil (ppt), fueron suministrados por el Departamento de Anfibios de la Universidad de Newcastle ya que los datos habían sido tomados con anterioridad. No se proporcionaron datos de salinidad sobre la nueva charca de la zona de rehabilitación ya que fue descubierta mientras se realizaba el muestreo.

### **2.3. Selección de variables**

Para conocer las charcas más apropiadas para llevar a cabo la reintroducción de la especie, se ha considerado imprescindible reducir el número de variables a aquellas que son básicas y predictoras de la presencia de *Litoria aurea*. Este proceso se llevó a cabo seleccionando las variables de las cuales existía información concluyente sobre el hábitat de reproducción de *Litoria aurea*. Se establecieron los valores aproximados que, según la bibliografía, tendría el hábitat de reproducción ideal de *Litoria aurea* para dichas variables.

A partir de la información obtenida con el trabajo de campo en el complejo minero del Monte Owen, la revisión bibliográfica de los diferentes proyectos, artículos e informes, se seleccionaron 33 variables (del total de las 99 características recopiladas inicialmente como se puede ver en el anexo 1) para su posterior análisis y estudio y así poder determinar la idoneidad del hábitat de reproducción de las diferentes charcas. Las variables se clasificaron en las mismas cinco categorías: cinco corresponden a características generales, once de ellas pertenecen a la categoría de vegetación, siete se agrupan en características físicas, nueve pertenecen a la categoría de fauna y tan sólo una se encuentra dentro de calidad de agua (ver anexo 2).

### **2.4. Consulta a expertos**

Se consultó a los siguientes expertos en la rana *Litoria aurea* sobre las variables que fueron seleccionadas para asegurar la importancia de cada una, su calidad e idoneidad:

- Dr. John Clulow, Profesor Michael Mahony y Michelle Stockwell de la facultad de Ciencias y Tecnología de la Información, escuela de Ciencias Ambientales, Universidad de Newcastle.

- Dr. Andrew J. Hamer, *Australian Research Centre for Urban, Ecology Royal Botanic Gardens*, Facultad de Botánica, Universidad de Melbourne.

Los expertos clasificaron las 33 variables en tres categorías de importancia para el hábitat de reproducción de *Litoria aurea*: Muy importantes, importantes y poco importantes.

## **2.5.Tratamiento de los datos**

Se realizaron diversos procedimientos para caracterizar y jerarquizar las charcas y determinar cuales cumplían mejor los requerimientos físicos y biológicos de la rana. Se utilizó un análisis univariante y un análisis multivariante mediante una matriz de evaluación

### Análisis univariante

El valor de cada una de las 33 variables individuales de las 14 charcas fue estudiado de manera univariante y esos valores fueron comparados con el de la charca ideal. Arroja unas primeras conclusiones básicas sobre si nuestras charcas se asemejan a la charca ideal, y que variables son más o menos coincidentes.

Para llevar a cabo este estudio se utilizó el programa Excel como se ejemplifica en la siguiente figura 2.4.

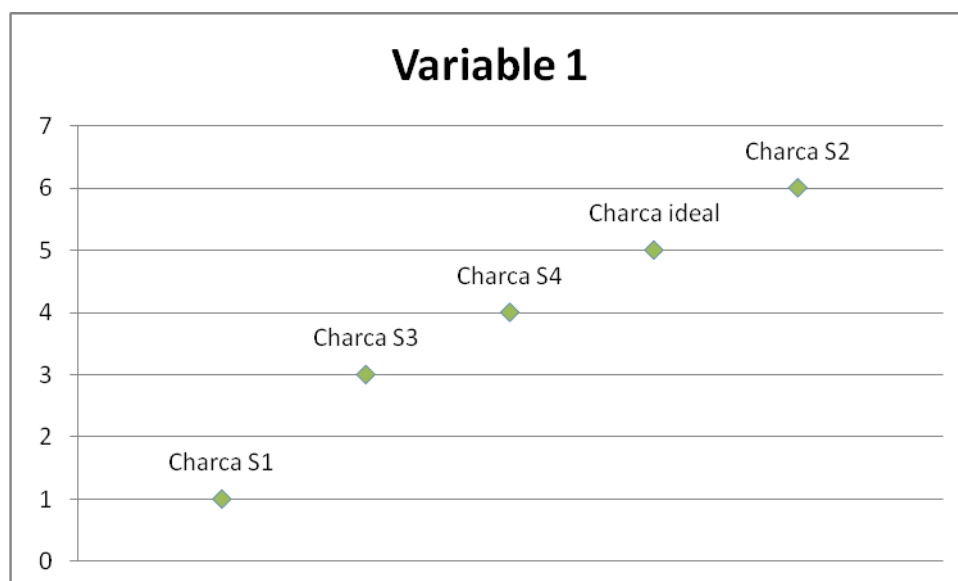


Figura 2.4. Ejemplo de análisis univariante realizado con cada una de las 33 variables seleccionadas.

### Matriz de evaluación

Se elaboró una matriz de evaluación teniendo en cuenta las 33 variables simultáneamente. El método seguido fue el de Gómez Orea y Gómez Villarino (2007). Se construyó una tabla (anexo 5) donde a cada variable se le otorgó una importancia o peso específico entre 1 y 3 en función de la relevancia que tiene para el hábitat de reproducción de la especie según la opinión expresada por expertos en *Litoria aurea*. A su vez cada variable fue valorada con la siguiente puntuación: 5 muy bueno, 4 bueno, 3 medio, 2 insuficiente y 1 muy insuficiente, en función de que el valor de la variable se aproximara o alejara del valor ideal obtenido de la bibliografía.

Posteriormente se multiplicó el valor de cada variable por su importancia. La suma de esos valores permitió obtener una suma total ponderada por la importancia de las variables. Además del valor absoluto, se obtuvo la media ponderada reclasificada del 1 al 10 en función del valor máximo que se podría haber obtenido en esa charca si las 33 variables hubiesen sido valoradas como 5.

|             | Variable 1 | Variable 2 | Variable 3 | Variable 4 | ... | Suma ponderada | Media ponderada |
|-------------|------------|------------|------------|------------|-----|----------------|-----------------|
| Importancia |            |            |            |            |     |                |                 |
| Charca S1   |            |            |            |            |     |                |                 |
| Charca S2   |            |            |            |            |     |                |                 |
| Charca S3   |            |            |            |            |     |                |                 |
| ...         |            |            |            |            |     |                |                 |

Figura 2.5. Matriz de evaluación. Fuente: Gómez Orea y Gómez Villarino (2007).

Los valores más altos se corresponden con la charca que tiene mayor idoneidad al hábitat de reproducción de *Litoria aurea*.

Se debe tener en cuenta que para las charcas para las que no existen la totalidad de los datos (R4, R5, R7, R8 y NC), el cálculo de la media ponderada se ha realizado sobre los valores de las variables existentes y no sobre todas ellas.

### 3. Resultados

Los resultados se han obtenido utilizando dos metodologías complementarias entre sí con el objetivo de tener un mejor criterio para la elección de las charcas más adecuadas para la reintroducción de la especie.

#### Análisis univariante

En primer lugar se realizó un análisis univariante, por el cual se representó gráficamente cada variable para el conjunto de las 14 charcas y la charca ideal. El análisis fue realizado sobre todas las variables ordenadas por categoría y de mayor a menor importancia.

#### **Características generales**

La distancia media ha sido clasificada por los expertos en la materia como una de las más determinantes para el hábitat de *Litoria aurea*. Como se observa en la gráfica, por lo general, la distancia media de cada charca a las demás de su mismo grupo es más alta de lo recomendable en las tres zonas. Existe una gran distancia en la zona de la última llamada entre U96 y U99, mientras que la aproximación de las charcas en la zona de rehabilitación se asemeja más al dato de la charca ideal (100 m de distancia).

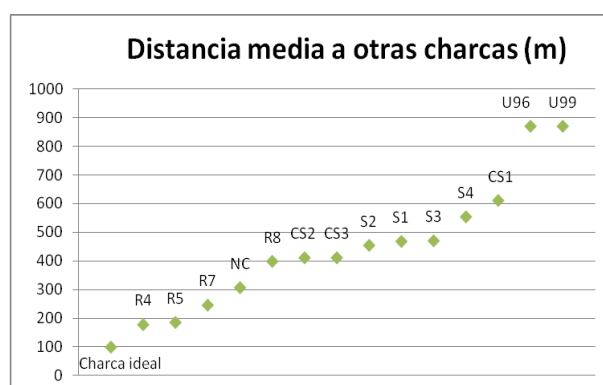


Figura 3.1. Distancia media a otras charcas (m).

En cuanto al área de la charca, se observa que, a excepción de U99 (que tiene un poco más de 8.000 m<sup>2</sup>), son más pequeñas que los 5.000 m<sup>2</sup> recomendados. La mayoría están entre los 1.000 m<sup>2</sup> y los 2.500 m<sup>2</sup>, e incluso menores.

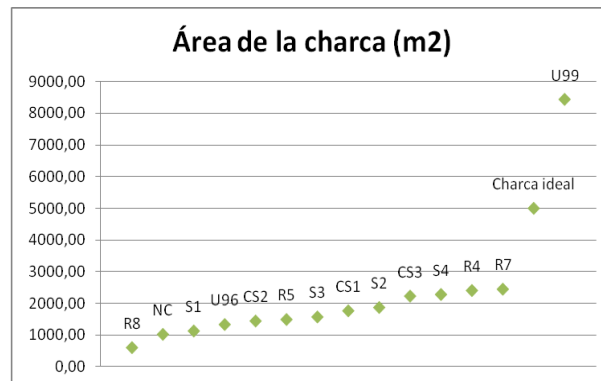


Figura 3.2. Área total de la charca (m<sup>2</sup>).

La profundidad media, medida a un metro del borde del agua se encuentra muy próxima a la medida ideal (15 cm) en los tres grupos de charcas, siendo la zona de la última llamada la que más difiere al tener mayor profundidad.

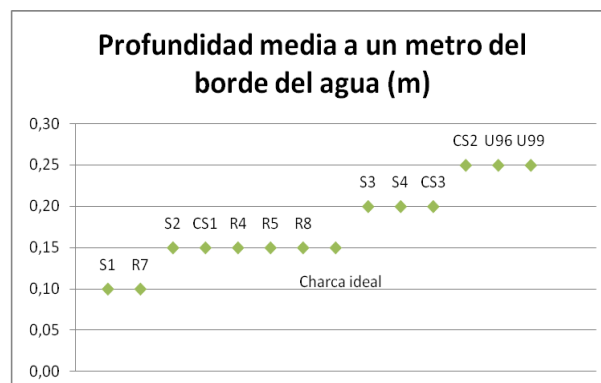


Figura 3.3. Profundidad media a un metro del borde del agua

En cuanto a la temporalidad de las charcas, una característica deseable en las charcas de *Litoria aurea*, tan sólo las charcas R4, R5, R7 y R8 de la zona de rehabilitación presentan esa característica que les permite desecarse completamente en los meses más calurosos del verano.

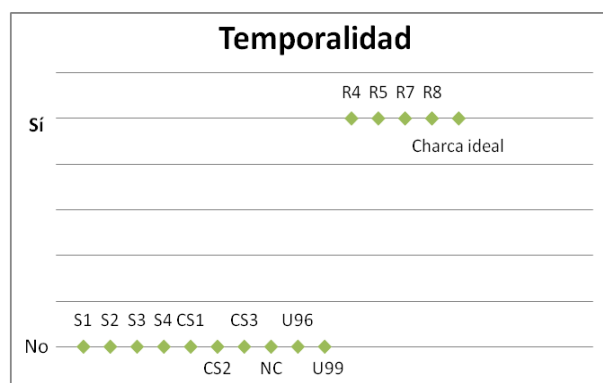


Figura 3.4. Temporalidad

La vegetación circundante debe estar compuesta por un pastizal abierto, característica coincidente en la mayoría de los casos salvo en CS3 que se encuentra rodeada de un bosque abierto y U96 que no presenta vegetación en el área circundante.

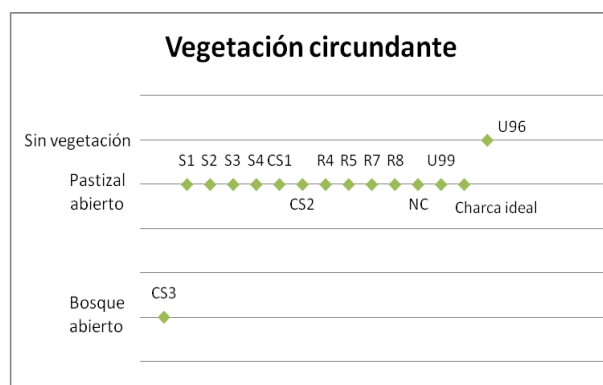
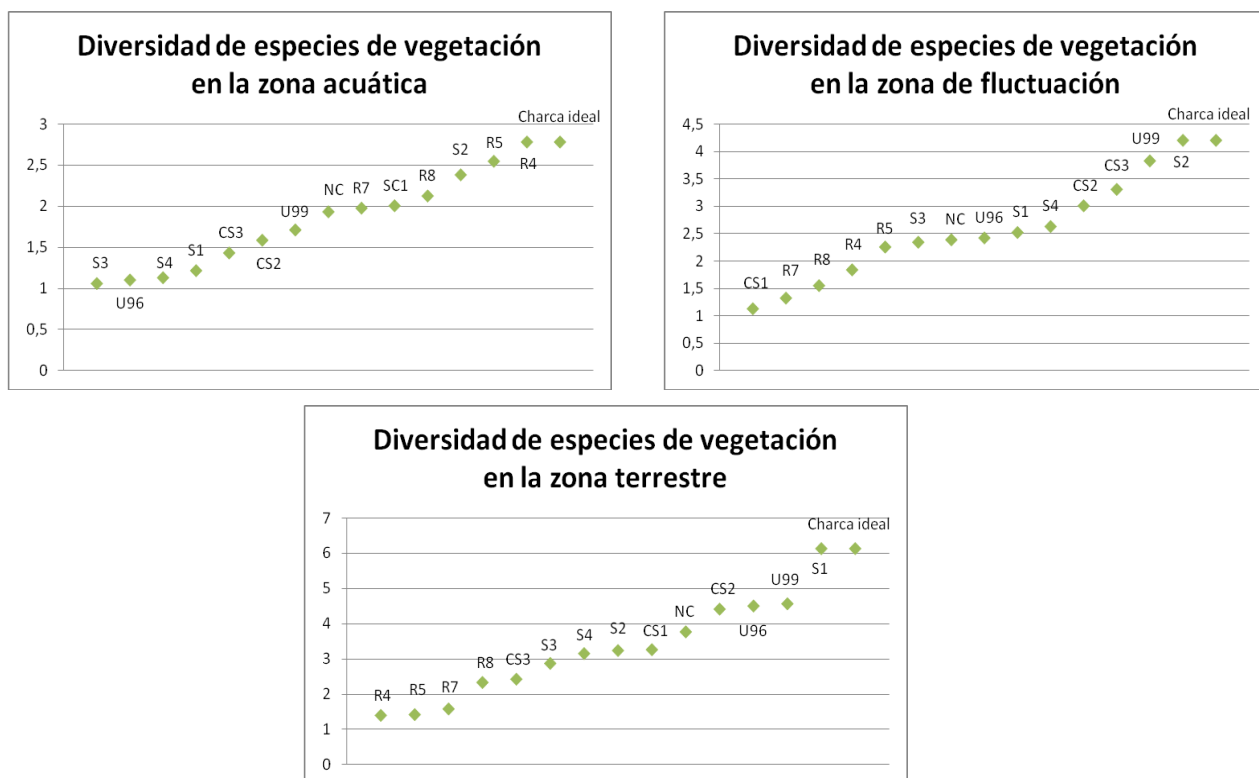


Figura 3.5. Vegetación circundante

## Vegetación

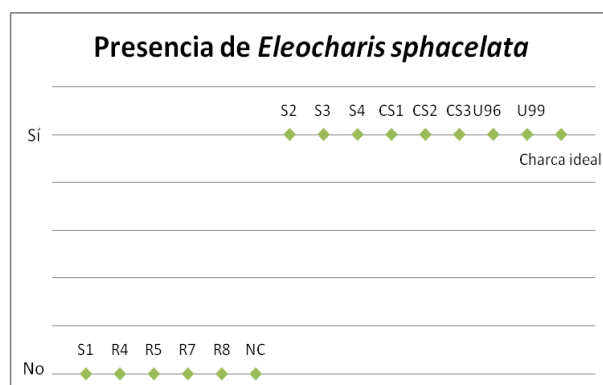
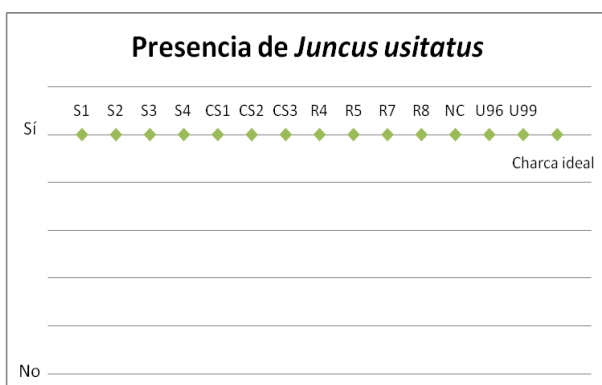
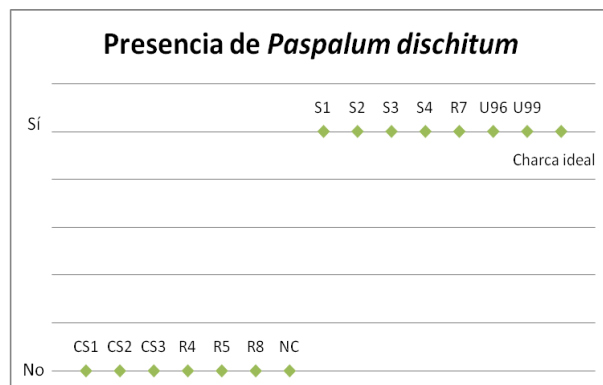
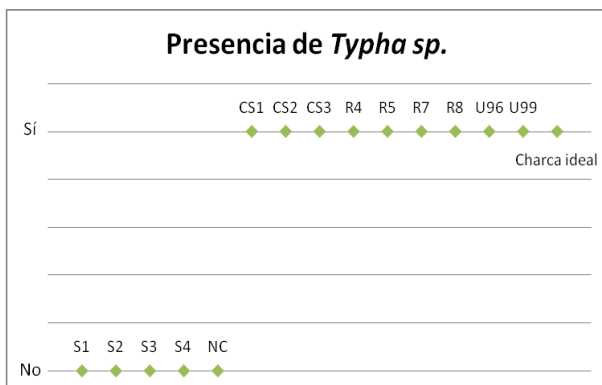
Para examinar la riqueza y diversidad de especies de la vegetación en la zona acuática, de fluctuación o terrestre se ha tenido en cuenta que cuanto mayor es la diversidad y la riqueza de la vegetación, mejor es el hábitat de reproducción de *Litoria aurea*. Por ello, se destacan aquellas charcas que se encuentran en el tercio superior de los valores de estas variables.



Figuras 3.6, 3.7 y 3.8. Diversidad de especies de vegetación en las tres zonas de la charca.

Como se aprecia en las anteriores figuras, en la zona acuática las charcas con mayor diversidad son R4, R5 y S2 siendo la zona de rehabilitación la que presenta mayor diversidad en conjunto. En la zona de fluctuación, son las charcas S2, U99 y CS3 las que presentan valores más altos, siendo la zona de conservación sur la que presenta mayor diversidad en su conjunto. En la zona terrestre, las charcas S1 y U99 presentan los mayores índices de diversidad vegetal, siendo las zonas de conservación sur y de la última llamada las que presentan los valores más altos en el conjunto total de las charcas.

La existencia de ciertas especies de plantas ha sido recomendada por diferentes fuentes. El gobierno australiano recomienda la presencia de *Paspalum distichum*, *Juncus usitatus* y *Eleocharis sphacelata* y otros autores aconsejan la existencia de *Typha sp.*, *Eleocharis sp.* y *Juncus sp.* Las charcas CS1, CS2, CS3, R4, R5, R7, R8, U96 y U99 presentan *Typha sp.*, mientras que las que presentan *Paspalum distichum* son S1, S2, S3, S4, R7, U96 y U99. *Juncus usitatus* se encuentra en la totalidad de las charcas y por último *Eleocharis sphacelata* se halla en S2, S3, S4, CS1, CS2, CS3, U96 y U99.



Figuras 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12. Presencia de diferentes especies de vegetación.

La riqueza de especies de vegetación en la zona acuática es mayor en las charcas R4, R7, CS3, R8, R5 y U99, siendo la zona de rehabilitación la que presenta los valores más altos en conjunto, como se puede observar en las figuras siguientes. En la zona de fluctuación también son las zonas de rehabilitación, junto con la de la última llamada, las que presentan los valores de riqueza más altos, destacando las charcas R8, U99, CS2, CS3 y R5. La riqueza de especies de vegetación en la zona terrestre se encuentra en mayor igualdad en los tres grupos de charcas, siendo los valores un poco más altos en la zona de la última llamada, y destacando charcas como U96, S2 y U99.

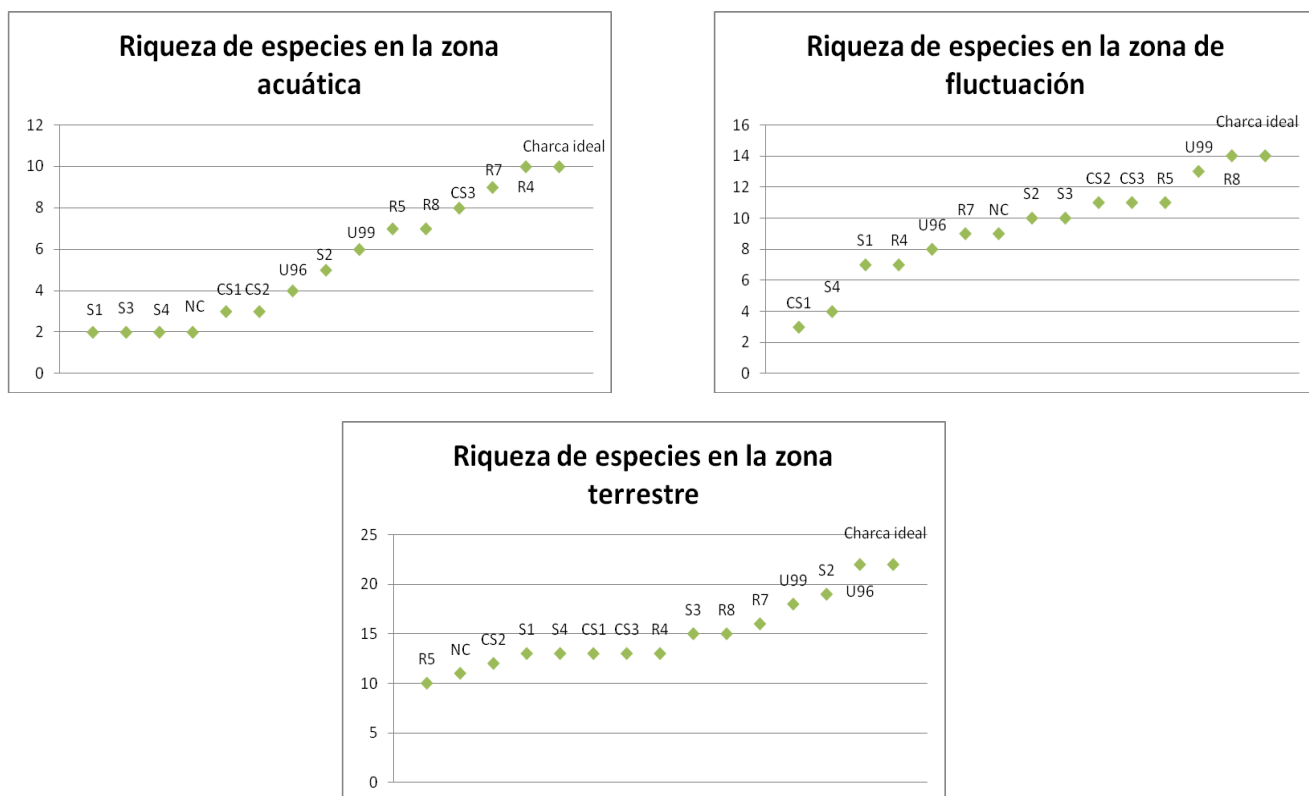


Figura 3.13, 3.14 y 3.15. Riqueza de especies vegetales en las tres zonas de las charcas.

*Litoria aurea* se ve beneficiada por un alto porcentaje de vegetación en la zona de fluctuación ya que favorece sus actividades de refugio y tomar el sol. Como se aprecia en la figura 3.16, las charcas que presentan más de un 70% de vegetación en la zona de fluctuación son S3, S4, CS2, CS3, R7 y U99.

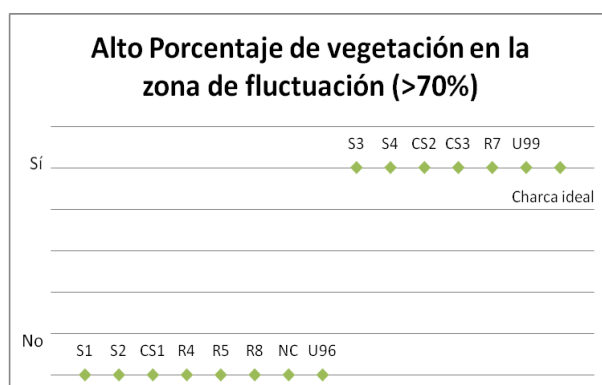


Figura 3.16. Porcentaje de vegetación en la zona de fluctuación (>70%)

**Características físicas**

Se ha observado en charcas con presencia de *Litoria aurea*, que los perfiles convexos y escalonados en la zona de fluctuación son convenientes ya que proveen mejores oportunidades de escape frente a un depredador. Como se observa en las figuras siguientes, ninguna de las charcas de nuestra área de estudio presenta estas características.

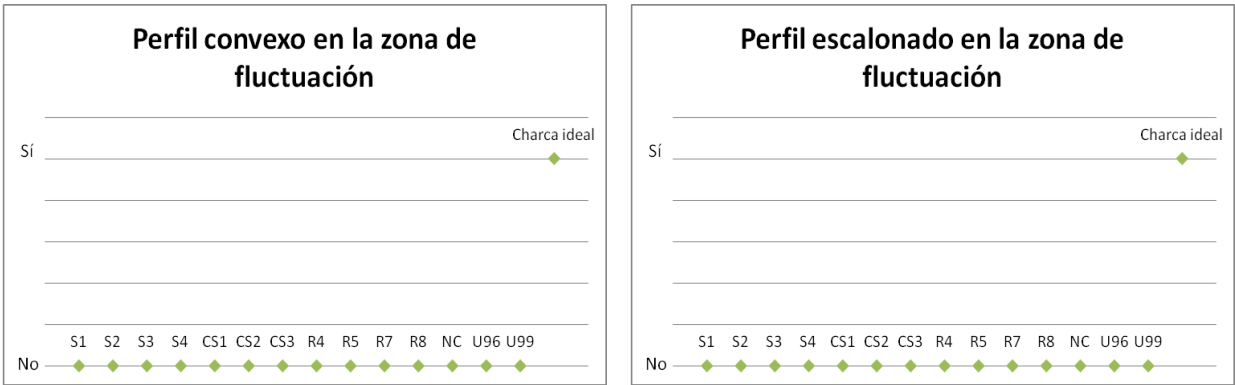


Figura 3.17 y 3.18. Tipo de perfil en la zona de fluctuación

La vegetación se ve favorecida por una textura fina del suelo en las zonas acuática y de fluctuación. Todas las charcas presentan un sustrato fino en la zona acuática, con los valores oscilando entre limo, arcilla y fango. Considerando arcilla como el material ideal, el grupo que más se asemeja en conjunto en la zona acuática sería el de la zona de rehabilitación. En la zona de fluctuación, la textura arcillosa también se considera como la textura ideal, pero en este caso los valores de las charcas tienden más hacia el limo. Las charcas que tienen una textura arcillosa en la zona de fluctuación son R8, NC y U96. La textura de limo o arcilla en la zona terrestre es ideal y en nuestro caso, todas las charcas muestreadas tienen textura limosa a excepción de R4 y R5, que tienen textura de arcilla (ver figuras 3.19, 3.20 y 3.21).



Figura 3.19, 3.20 y 3.21. Textura del suelo en las tres zonas de las charcas

La presencia de rocas en la zona acuática es una característica muy importante debido a que favorece la actividad de refugio y tomar el sol. Todas las charcas a excepción de S3, CS2 y U96 presentan más de un 5% de superficie de roca en la zona acuática.

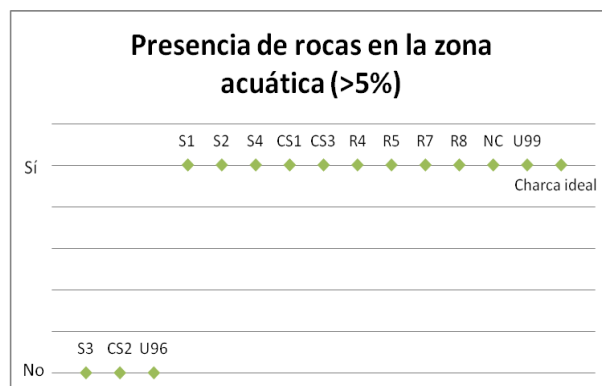


Figura 3.22. Presencia de rocas en la zona acuática (>5%).

El suelo desnudo en la zona terrestre tiene la función de crear heterogeneidad y favorece la búsqueda de alimento por parte de *Litoria aurea*. Como se aprecia en la siguiente gráfica, las charcas que presentan una cantidad de al menos un 5% de suelo desnudo en la zona terrestre son S1, CS1, R4, R5, R7, NC, U96 y U99.

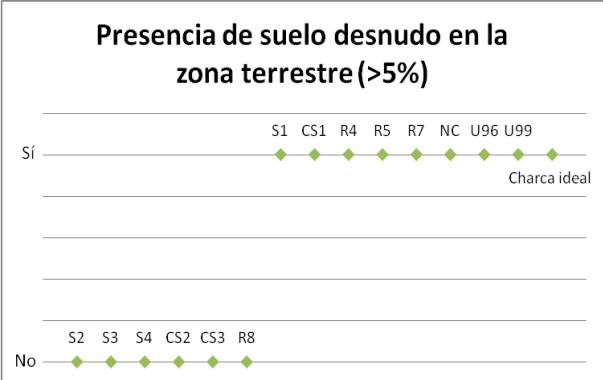


Figura 3.23. Presencia de suelo desnudo en la zona terrestre.

### Fauna

Es recomendable mantener las charcas libres de peces para aumentar el rendimiento en la reproducción de las ranas. Tan sólo se observaron peces en las charcas S2 y CS1. Cabe destacar que no pudieron ser tomados los datos de estas variables para las charcas R4, R5, R7 y R8 al encontrarse completamente secas durante el muestreo, lo cual seguramente quiere decir que estas charcas no disponen de peces.

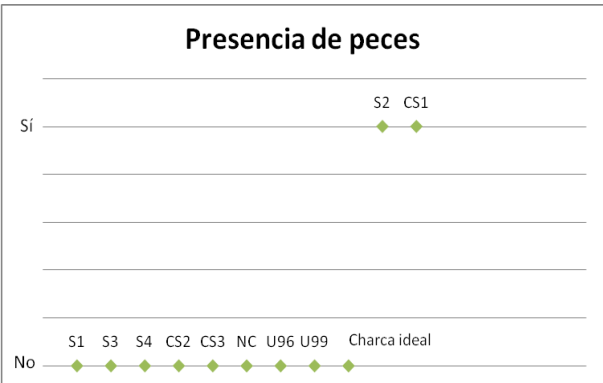


Figura 3.24. Presencia de peces

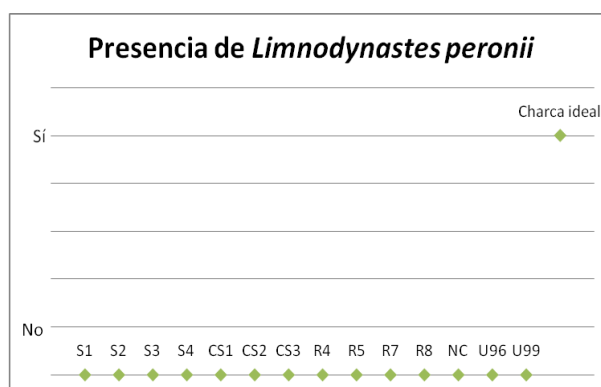
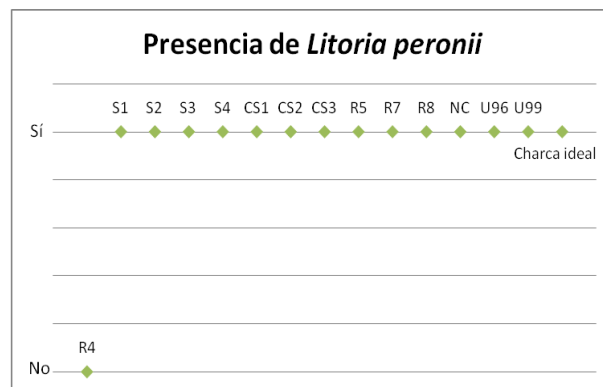
La presencia de otras especies de ranas es un indicador de que el hábitat puede ser apropiado para *Litoria aurea*. Al igual que en el caso de la vegetación, se destacan las charcas que se encuentran en el tercio superior de los valores de estas variables. Como se observa en las figuras 3.35 y 3.26, solamente la charca U99 destaca por su índice de diversidad, aunque se debe tener en cuenta que no se pudieron obtener los datos de la diversidad zona de rehabilitación por falta de información.

En cuanto a la riqueza, las charcas que se encuentran en el tercio superior son U99, S1, S4, CS3, CS2, CS1, S3, S2 y U96 siendo la zona de rehabilitación donde la riqueza es menor en su conjunto.



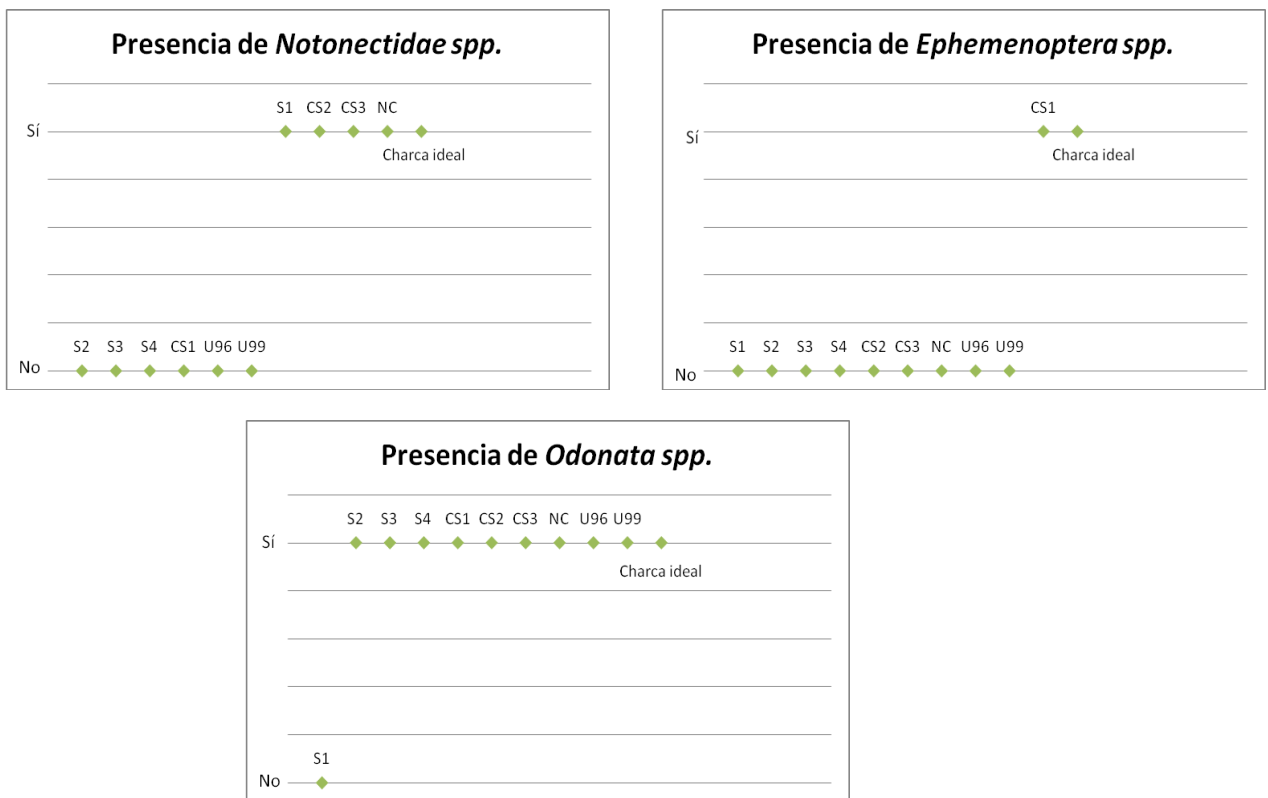
Figuras 3.25 y 3.26. Diversidad y riqueza de anfibios.

La presencia de otras especies de ranas como *Litoria fallax* o *Litoria peronii* favorece la presencia de *Litoria aurea* porque funcionan como una fuente de alimento para ella. Como se puede ver en las siguientes figuras, todas las charcas a excepción de R4 presentan ambas especies. *Limnodynastes peronii* es también predictora de la presencia de *Litoria aurea* ya que se ha observado que la comunidad presenta requerimientos similares. Lamentablemente, esta última rana no se registró en ninguna de las charcas.



Figuras 3.27, 3.28 y 3.29. Presencia de otras especies de anfibios.

La presencia de algunos invertebrados acuáticos como *Nononectidae spp.*, *Ephemeroptera spp.* y *Odonata spp.* es importante porque requieren una calidad del agua muy similar a *Litoria aurea* y pueden ser utilizados como fuente de alimento por la rana. Podemos encontrar barqueritos (*Nononectidae spp.*) en S1, CS2, CS3 y NC. Los efemerópteros (*Ephemeroptera spp.*) se encuentran tan solo en CS1, mientras que *Odonata spp.* se encuentran en S2, S3, S4, CS1, CS2, CS3, NC, U96 y U99. No pudieron ser tomados los datos de estas variables para las charcas R4, R5, R7 y R8 al encontrarse completamente secas durante el muestreo (ver figuras 3.30, 3.31 y 3.32).



Figuras 3.30, 3.31 y 3.32. Presencia de invertebrados acuáticos.

## Calidad del agua

El pH ideal para *Litoria aurea* es más neutro que alcalino, aunque tolera un amplio rango y todas las charcas se podrían incluir en el mismo, las pertenecientes a la zona de rehabilitación son ligeramente más básicas, lo cual pudiera decrecer la abundancia de la especie según otros estudios realizados.

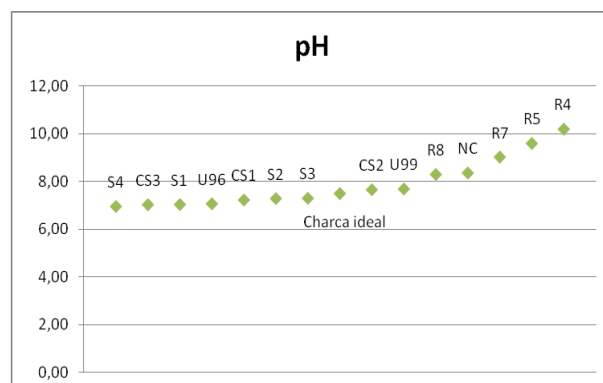


Figura 3.33. pH

### Matriz de evaluación

La Tabla 3.1 resume la puntuación obtenida por cada una de las 14 charcas. La matriz de evaluación completa puede ser consultada en el anexo 5. Todas las charcas han tenido una calificación superior al cinco, destacando con valores de “notable” (puntuación de 7 o más) la charca R5 con 7,3 puntos positivos sobre 10, seguida de R7, U99, S2, R4 y R8. De las seis charcas que han obtenido una puntuación igual o superior a 7, cuatro de ellas pertenecen a la zona de rehabilitación.

|            | Valoración |            | Valoración |
|------------|------------|------------|------------|
| Charca R5  | 7,3        | Charca CS2 | 6,7        |
| Charca R7  | 7,2        | Charca S1  | 6,5        |
| Charca U99 | 7,1        | Charca S3  | 6,5        |
| Charca S2  | 7          | Charca CS1 | 6,5        |
| Charca R4  | 7          | Charca NC  | 6,4        |
| Charca R8  | 7          | Charca S4  | 6,3        |
| Charca CS3 | 6,9        | Charca U96 | 6,1        |

Figura 3.1. Valoración en la matriz de evaluación

## 4. Discusión

La discusión se ha estructurado teniendo en cuenta los cuatro objetivos específicos que se fijaron en el apartado de Introducción. Además se ha incluido un apartado final para mostrar, de manera resumida, las fases que deberían realizarse para la reintroducción de especímenes de *Litoria aurea* en el complejo minero del Monte Owen.

### Caracterización física y biológica de las charcas

La caracterización física y biológica de cualquier hábitat o medio natural abarca un número muy alto de variables y de relaciones ecológicas, por lo que el primer obstáculo al que nos enfrentamos fue seleccionar la información que iba a ser muestreada de las catorce charcas sometidas a estudio. Para ello se tuvieron en cuenta otros proyectos similares sobre humedales y otras masas de agua, información sobre la biología y ecología de anfibios y en concreto sobre *Litoria aurea*. Finalmente, 99 variables fueron muestreadas en cada charca para su posterior selección y estudio.

Se encontraron dificultades a la hora de establecer una metodología única de muestreo en las charcas debido a que se hallaron grandes diferencias morfológicas entre ellas en función de la zona donde se encuentran las masas de agua dentro del complejo minero: la zona de conservación sur, la zona de rehabilitación y la zona de la última llamada.

Por tanto, en este estudio se ha realizado una exhaustiva caracterización de las charcas, cubriendo los aspectos físicos (topográficos, geomorfológicos, edáficos y geológicos), biológicos (vegetación y fauna de peces, anfibios e insectos) y de la calidad del agua (pH y salinidad).

## **Identificación de las variables clave del hábitat de reproducción de *Litoria aurea***

El siguiente paso fue seleccionar, de esas 99 originalmente muestreadas, las variables que mejor definen la calidad del hábitat para *Litoria aurea*, y poder aplicar metodologías que nos permitieran tomar decisiones sobre las mejores charcas para llevar a cabo la reintroducción.

Todavía no se entienden bien los componentes fundamentales del hábitat utilizados por *Litoria aurea* y cómo pueden afectar a la supervivencia y la reproducción de esta especie (Pyke y White, 2001), por eso la selección de las variables se realizó a partir de bibliografía y consulta con expertos. La dificultad de identificación de esas variables predictoras de la presencia de *Litoria aurea* se debe a intentar entender los requerimientos ecológicos y preferencias de la especie durante los últimos 25 años, un período en el que la especie se ha visto en declive (Clulow y Mahony, 2006).

La biología de *Litoria aurea* es enigmática y tiene muchas cualidades de especie colonizadora, lo curioso es que su número haya descendido tanto hasta el punto de encontrarse en peligro de extinción o vulnerable (Pyke y White, 2001). *Litoria aurea* tiene, por ejemplo, grandes desoves lo cual no es común en especies de anfibios que se encuentran en peligro de extinción en la naturaleza (Hamer y Mahony, 2007). Una gran descendencia suele conferir una alta resiliencia a los agentes medioambientales que causan fluctuaciones en la población, pero debe existir algún factor que invalide esta característica para *Litoria aurea* (Goldingay, 2008), y es que tampoco se conoce cual es el motivo del declive de esta especie. Se cree que el primer paso para interpretar correctamente el hábitat de *Litoria aurea* es entender y conocer perfectamente los factores que están causando la disminución en la población de la rana (Clulow y Mahony, 2006).

Tras la completa revisión bibliográfica y la consulta a expertos en *Litoria aurea*, la impresión es que, como en muchas situaciones similares, se necesita más investigación para proveer de la información necesaria acerca de cuales son las amenazas reales para poder combatirlas (Pyke y White, 2001).

## **Selección de las charcas individualmente o en grupo**

Las diferentes metodologías utilizadas clasifican las catorce charcas en orden de mayor a menor idoneidad como hábitat de reproducción de *Litoria aurea*. Se ha considerado tomar los resultados obtenidos de idoneidad no para las charcas individualmente, sino para el conjunto que forman en cada una de las tres zonas dentro del complejo minero del Monte Owen, debido a que las poblaciones de *Litoria aurea* que no han desaparecido en el estado de Nueva Gales del Sur se han encontrado preferentemente en sistemas de múltiples charcas, frente a charcas aisladas (Goldingay, 2008). Para algunos autores, el remedio para frenar el declive de la especie es realizar reintroducciones o translocaciones de poblaciones con grandes números de individuos para que se puedan dispersar a través de diferentes lugares de reproducción y funcionar como una metapoblación (Goldingay, 2008).

Las charcas que han recibido una mayor puntuación han sido las pertenecientes a la zona de rehabilitación. El análisis univariante nos muestra cómo estas charcas se encuentran cercanas a los valores de la charca ideal en las variables más importantes del estudio. En concreto, las charcas seleccionadas han sido R4, R5, R7, R8 y NC. A continuación se discuten sus principales características.

### Características generales

Todas las charcas de la zona de rehabilitación presentan las distancias medias entre ellas más bajas, acercándose a los 100 metros recomendados por Pyke y White (2001). Se trata de una de las variables mejor valoradas por los expertos, relacionada directamente con la capacidad de dispersión de la rana. Esto significa que una población local funciona como una metapoblación, característica clave en la conservación y recuperación de esta especie (Goldingay, 2008), sólo si las distancias entre las charcas son muy cortas. Aunque los individuos puedan moverse a distancias superiores, el 50% de los movimientos son realizados cercanos a la charca, aproximadamente a unos 50

metros a la redonda (Hamer et al., 2008). Las dos charcas componentes de la zona de la última llamada, U96 y U99, se encuentran a casi 900 metros de distancia la una de la otra, por lo que la posibilidad de dispersión y el funcionamiento como metapoblación se vería muy reducido en esta zona (Goldingay, 2008).

También son las charcas de la zona de rehabilitación las que presentan un área total más similar al área ideal, también coinciden en la profundidad media del agua y la vegetación circundante a la charca, todas ellas consideradas como variables importantes para el hábitat de *Litoria aurea*. El área total de la charca resulta importante debido a que cuanto mayor es una masa de agua mayor número de individuos puede mantener en términos de recursos como espacio y alimentación, además cuanto mayor es la charca mayor es el porcentaje de orilla que puede ser utilizada por *Litoria aurea* para tomar el sol (Pollard, 2009). Tomar el sol le proporciona a la rana una manera de incrementar la temperatura corporal, que a su vez aumenta la tasa de metabolismo y permite comportamientos activos como la búsqueda de alimento (Hamer et al., 2003). Esto es especialmente importante para los juveniles, ya que la velocidad y habilidad para alimentarse y digerir una presa aumenta cuando lo hace la temperatura corporal, de manera que se reduce el tiempo y el riesgo que los individuos corren de ser depredados debido a su pequeño tamaño (Lillywhite et al., 1973).

La profundidad está relacionada con las actividades de reproducción y refugio (Clulow y Mahony, 2006). Las orillas deben ser someras ya que permiten a la rana saltar y escapar de depredadores, como se ha observado personalmente al realizar los muestreos nocturnos y diurnos en el Monte Owen. Las orillas de la charca también son utilizadas para depositar los huevos y que sean fecundados, ya que normalmente la masa gelatinosa que compone el desove queda anclada a la vegetación acuática (Pyke y White, 2001). Además, la poca profundidad del agua en el borde de las charcas favorece que las ranas estén en contacto con el agua por la parte inferior de su cuerpo mientras se encuentran tomando el sol, de manera que pueden compensar la pérdida de agua corporal y prevenir la deshidratación (Cree, 1988).

La vegetación circundante es fundamental para las actividades de dispersión y búsqueda de alimento (DECC, 2008a y 2008b), de manera que esta variable se complementa con

la distancia media entre las charcas. Una densa vegetación en la zona terrestre además, impide los movimientos de *Litoria aurea*, disminuyendo el éxito en la caza de presas, como ocurre con otras especies de ranas (Heard et al., 2008). Esta característica se debe a la estrategia de caza de *Litoria aurea* que consiste en sentarse y esperar a la presa en hábitats terrestres, y cuando la presa se mueve la rana le tiende una emboscada (Pyke y White, 2001).

La temporalidad es la característica que permite a las charcas desecarse completamente a lo largo de un año debido al extremo calor para volver a llenarse de agua en la época de lluvias. Esta fluctuación tan significativa del nivel del agua provoca la muerte de muchos depredadores, especialmente peces, que potencialmente podrían eliminar los huevos y renacuajos de *Litoria aurea* (Pyke et al., 2002). Tan sólo las charcas pertenecientes a la zona de rehabilitación presentan esta característica (a excepción de NC), lo cual supone una ventaja muy grande sobre el resto de las charcas.

### Vegetación

La diversidad y riqueza de especies de vegetación acuática y terrestre es otra de las variables importantes porque en la vegetación la rana lleva a cabo sus principales actividades: reproducción, alimentación y refugio (Pyke y White, 1996). *Litoria aurea* ha sido observada buscando alimento en la vegetación adyacente a las charcas (Pyke y White, 2001), y su diversidad está directamente correlacionada con la disponibilidad de presas (Hamer et al., 1998). Además, un aumento de la diversidad de la vegetación refleja un hábitat con una estructura heterogénea que aumenta el potencial de hibernación y lugares de refugio para *Litoria aurea* (Heard et al., 2008).

En cuanto a la diversidad de la vegetación en la zona acuática destacan de nuevo las charcas de la zona de rehabilitación, aunque los datos de diversidad en la zona de fluctuación y en la zona terrestre se encuentran por debajo de lo deseable. La riqueza de especies vegetales en la zona acuática es alta para la zona de rehabilitación, mientras que disminuye proporcionalmente a medida que nos alejamos del borde del agua. La vegetación en la zona acuática provee protección frente a depredadores, lugares para tomar el sol y para realizar la llamada de cortejo, así como lugares de refugio para renacuajos (Pyke y White, 2001; Hamer, 1998). Uno de los beneficios de tomar el sol

en la orilla de las charcas es la existencia de una fuente de agua cerca que puede ser utilizada por las ranas para rehidratarse. Las ranas pierden altas cantidades de agua a través de su permeable piel, y de esta manera *Litoria aurea* puede saltar rápidamente al agua para rehidratarse cuando sea necesario (Hamer et al., 2003). La alta diversidad de vegetación en la zona de fluctuación indica una complejidad estructural en el hábitat que aumenta los nichos ecológicos disponibles para que puedan ser utilizados por el mayor número de especies (Tews et al., 2004).

*Litoria aurea* se ve favorecida por la presencia de ciertas especies de plantas acuáticas y concretamente por *Typha sp.*, una de las variables importantes debido a que *Litoria aurea* presenta facilidad para trepar y se le suele encontrar normalmente colgada de este tipo de vegetación acuática (Pyke y White, 2001). Además, esta especie puede ser utilizada como lugar para tomar el sol o realizar la llamada de atracción a la hembra (Garham, 2009). *Juncus usitatus* también constituye una fuente de recursos para *Litoria aurea*, sus finos y largos tallos y su robusta raíz provee de refugio durante el invierno (Hamer et al., 1998). Además, su densa estructura provee a *Litoria aurea* de protección frente a depredadores, y por su localización en la zona de fluctuación implica una ruta de escape al agua si las ranas son atacadas. Complementariamente, la proximidad al borde del agua y su altura puede convertir esta planta en un lugar ideal para que un macho atraiga a una hembra (Garham, 2009). Especies como *Eleocharis sphacelata* y *Paspalum distichum* también favorecen la presencia de *Litoria aurea*. Todas las charcas de la zona de rehabilitación presentan *Typha sp.*, a excepción de NC. *Juncus usitatus* se encuentra en todas las charcas de la zona de rehabilitación y tan sólo R7 presenta *Paspalum distichum*. Cabe destacar que ninguna de las charcas de la zona de rehabilitación tiene *Eleocharis sphacelata* en sus orillas.

*Litoria aurea* se ve beneficiada por un alto porcentaje de vegetación en la zona de fluctuación ya que favorece sus actividades de refugio y tomar el sol (Garnham, 2009). Tan sólo una de las charcas de la zona de rehabilitación se encuentra dentro de las clasificadas con un alto porcentaje de vegetación en la zona de fluctuación. Esta menor proporción de diversidad, riqueza y presencia de especies vegetales en la zona de rehabilitación quizá se deba a que estas charcas llevan menos tiempo instauradas y se encuentran en un temprano estadio sucesional, ya que fueron fruto de la reconstrucción

topográfica de una ladera e identificadas por primera vez en 2008, mientras que el resto de las charcas se encuentran en el Monte Owen previa a la explotación minera.

### Características físicas

Los perfiles de la superficie del suelo convexos o escalonados en la zona de fluctuación proveen mejores oportunidades de escape frente a un depredador porque le permite a la rana saltar y llegar de manera más sencilla a la masa de agua (Pollard, 2009). La mayor parte de las charcas en la zona de rehabilitación presentan un perfil del suelo en las zonas terrestres y de fluctuación de tipo arado.

La importancia de la textura fina del suelo está relacionada con su efecto sobre la vegetación (Garnham, 2009). El tipo de suelo es uno de los factores más influyentes en la distribución de la vegetación. La estructura y composición de las comunidades de plantas asociadas a texturas más finas de suelo, como arcilla o limo, resultan diversas en especies y apropiadas para *Litoria aurea*. Además, estas comunidades vegetales generan, potencialmente, un rango más amplio de invertebrados y por lo tanto más productivo en términos de alimentación o mayor diversidad de lugares que proveen refugio o protección frente a depredadores (Hamer, 1998; Pollard, 2009). Las charcas de la zona de rehabilitación presentan la textura ideal de arcilla en la zona acuática, en la zona de fluctuación presenta una textura más gruesa de lo deseable, mientras que en la zona terrestre es un poco más fina. Esta característica se corresponde con lo anteriormente expuesto sobre la juventud de las charcas en esta zona de rehabilitación.

Otra de las características que favorece las actividades de refugio y tomar el sol es la presencia de rocas en la orilla de la charca (Pyke y White, 1996; Clulow y Mahony, 2006). Todas las charcas de la zona de rehabilitación presentan un porcentaje mayor del 5% de rocas en su zona acuática. La presencia de rocas en la orilla provee de un gran número de lugares de refugio e hibernación para el frío, y además pueden ser utilizadas para escapar de la depredación o las inclemencias climáticas. Estos microhábitats ayudan a las ranas a sobrevivir frente a las bajas temperaturas (Hamer et al., 2003). Complementariamente, los apilamientos de rocas situados cerca del borde de la charca

proveerán de mayores beneficios que aquellos situados alejados de la masa de agua ya que las ranas tendrán mayor accesibilidad al agua para rehidratarse, e incluso es posible que las ranas no se deshidraten tan fácilmente mientras se refugian bajo estos apilamientos ya que la humedad del suelo es mayor (Pollard, 2009).

De igual manera, todas ellas, a excepción de R8, presentan un porcentaje mayor del 5% de suelo desnudo en la zona terrestre, lo cual crea heterogeneidad y favorece la actividad de alimentación de *Litoria aurea* al aumentar la capacidad de detección visual de las presas y eliminar la oportunidad de que la vegetación pueda interrumpir sus movimientos (Hamer, 1998; Garnham, 2009). Por otro lado, *Litoria aurea* ha sido observada tomando el sol en localizaciones como vegetación flotante, zonas de suelo desnudo o rocas cercanas a la orilla de las charcas (Daly, 1995).

### Fauna

Una característica importante es la presencia de peces en las charcas. No es recomendable ya que interfieren en la producción y crecimiento de los renacuajos (DECC, 2008a). Tan sólo en las S2 y CS1 se ha detectado la presencia de peces y el hecho de que las charcas de la zona de rehabilitación se encontraran secas durante el muestreo parece indicar que no puedan existir peces de manera permanente en las mismas.

La diversidad de especies de anfibios y su riqueza son también características que influyen positivamente en el hábitat de *Litoria aurea*. En las localizaciones donde se encuentra *Litoria aurea*, casi siempre existen otras especies de ranas (Pyke y White, 2001). La existencia de varias especies de anfibios significa que los requerimientos básicos para la supervivencia están cubiertos en el área (Garnham, 2009). En el caso de las charcas de rehabilitación el dato de la diversidad de anfibios no pudo ser obtenido, y lamentablemente se encuentran en los últimos puestos de riqueza de especies de anfibios, probablemente debido también a la modernidad de las charcas. En cambio, sí que cuentan con la presencia de otras especies de ranas como *Litoria fallax* y *Litoria peronii*, a excepción de R4, que favorecen la presencia de *Litoria aurea* porque los renacuajos y juveniles pueden actuar como una fuente de alimento para ella (Garnham, 2009). La relación positiva entre estas especies sugiere que no son competidoras

directas por los mismo recursos limitantes, y que las llamadas de cortejo no interfieren entre sí (Pollard, 2009).

Lamentablemente, ninguna de las charcas sometidas a estudio presenta la rana *Limnodynastes peronii*, que sí ha sido identificada en otras áreas del complejo minero del Monte Owen. Estas dos especies (*Limnodynastes peronii* y *Litoria aurea*) han sido observadas coexistiendo en las mismas charcas porque requieren características del hábitat muy similares, utilizando diferentes nichos dentro del mismo medio (Pollard, 2009). También se considera que *Litoria aurea* pueda utilizar los renacuajos y juveniles de esta otra especie como fuente de alimento (Pyke y White, 2001). El hecho de no conocer suficientemente el hábitat propicio para *Litoria aurea*, y su similitud con *Limnodynastes peronii*, sugiere estudiar más profundamente el hábitat de esta última y su relación con *Litoria aurea* para poder extraer conclusiones más determinantes.

La presencia de algunos invertebrados acuáticos como *Nononectidae spp.*, *Ephemeroptera spp.* y *Odonata spp.* se considera positiva por varias razones. Se cree que *Litoria aurea* puede utilizar estos insectos como fuente de alimento y además requieren una calidad del agua similar a la rana (Pollard, 2009). Lamentablemente no se pudieron recoger esos datos sobre los invertebrados en las charcas de rehabilitación al encontrarse secas durante la fase de muestreo.

### Calidad del agua

El pH ideal para *Litoria aurea* es más neutro que alcalino (Pollard, 2009), aunque tolera un amplio rango llegando hasta valores de 10,30 (Hamer, 2002a). Las charcas pertenecientes a la zona de rehabilitación presentan un pH ligeramente alcalino en comparación con el pH ideal, debido principalmente a la naturaleza básica del material con el que se realizó la reconstrucción de la ladera. Mientras que valores bajos de pH reducen significativamente el éxito de eclosión de los huevos y la supervivencia y ratios de crecimiento de los renacuajos (Gosner y Black, 1957), no se conoce mucho sobre los efectos de condiciones de alta alcalinidad. Se estima que valores altos podrían afectar de manera indirecta a los renacuajos y juveniles, al reducirse la cantidad y variedad de fuentes de alimentación (Pollard, 2009).

## **Mejora de las características del hábitat en las charcas seleccionadas para facilitar el éxito de la reintroducción**

Las charcas pertenecientes a la zona de rehabilitación R4, R5, R7, R8 y NC han sido seleccionadas para llevar a cabo la reintroducción de la rana *Litoria aurea* debido a que su hábitat es considerado adecuado para que la rana puede reproducirse y establecerse. No todas las charcas presentan las mismas características entre sí, ni cumplen todos los requisitos establecidos para la charca ideal. Su evaluación media fue la más elevada, que osciló entre 6,4 de NC y 7,3 de R5. Es por ello que se considera imprescindible llevar a cabo una serie de mejoras previas a la reintroducción que permita maximizar el éxito de la misma.

De manera general y sobre todas las charcas existen una serie de medidas que se recomienda considerar:

- Vallado de la zona de rehabilitación. Se debe asegurar que las charcas quedan libres de ganado. Actualmente, el ganado se encuentra en un área situada más al este, junto a la zona de conservación sur. Se recomienda el vallado de la zona de rehabilitación para evitar futuros incidentes ya que en las diferentes jornadas de muestreo en el complejo minero del Monte Owen, se observó como algunas vacas se escaparon de las zonas de pasto y llegaron muy cerca de la zona de rehabilitación.
- Plantaciones de especies vegetales. Debido a que las charcas son de creación reciente, los valores de diversidad y riqueza de especies vegetales no son todo lo altos que deberían ser. Por ello se deben realizar plantaciones de aquellas especies que son recomendables y beneficiosas para *Litoria aurea*. Para su consecución se puede consultar el manual publicado por el gobierno australiano sobre la creación y restauración de hábitats de *Litoria aurea* (DECC 2008a y 2008b).

Las plantaciones se deberán realizar de acuerdo a la época del año, las especies y la distancia a la masa del agua, ya que se distinguirá entre la zona acuática, la zona de fluctuación y la zona terrestre.

- Control del crecimiento de la vegetación circundante. La mejora del hábitat adyacente y la restauración de los corredores permitirá el movimiento de dispersión de los individuos. Para controlar el crecimiento del pasto de las zonas circundantes a las charcas se proponen quemadas controladas o corta al menos una vez al año. El uso de ganado es desaconsejado a menos que se tenga un total control sobre el lugar de pastoreo del mismo.
- Prevención frente al hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis*. Debido a que en este estudio no se ha analizado la presencia del hongo causante de la quitridiomycosis, se deben tomar muestras de las secreciones de los anfibios que se encuentren en las charcas de la zona de rehabilitación para descartar la infección. Se recomienda tomar medidas para evitar que el hongo llegue a presentarse en estas charcas mediante la realización de exámenes en los individuos de cualquier especie de anfibio encontrada en los muestreos en las charcas, al menos dos veces al año. En el caso de encontrarse el hongo se tomarán medidas adicionales para eliminarlo de las charcas.

No se realizarán medidas correctoras con respecto a mejorar la textura del suelo o el perfil del suelo debido ya que implicaría una obra que desbrozaría por completo la vegetación existente. Se considera que es más interesante que permanezca como se encuentra actualmente y que mediante las revegetaciones se autorregule la textura del suelo.

Debido al potencial de *Litoria aurea* para adaptarse a hábitats recién creados y la identificación de requerimientos específicos del mismo como zonas de refugio, áreas para buscar comida o lugares para poder tomar el sol, se recomiendan acciones específicas en algunas de las charcas que podrán mejorar el hábitat de la rana:

- Aumento del tamaño de la charca hasta alcanzar al menos los 2.000 m<sup>2</sup>. Debido a que el tamaño de la charca es importante para actividades de *Litoria aurea* como tomar el sol, se aumentará el tamaño de las charcas R8 y NC mediante excavación al menos hasta los 2.000 m<sup>2</sup>, ya que sus áreas apenas llegan a la mitad de ese tamaño.

- Aumento del porcentaje de zonas de suelo desnudo. Se aumentará la heterogeneidad de la zona terrestre de la charca R8 mediante la creación de zonas de suelo desnudo, de esta manera se mejoran los factores del hábitat de *Litoria aurea* y se favorecen las oportunidades de alimentación.
- Prevención frente a la colonización de peces. Esta acción se llevará a cabo mediante el drenaje de las charcas. Debido a que casi todas ellas son efímeras y se desecan en verano, tan sólo deberá realizarse en NC. Además, se recomienda especialmente la plantación de vegetación sumergida y/o flotante en esta charca y en las demás, ya que provee de protección a los renacuajos frente a los peces y otros depredadores (White y Pyke, 2008). Se desaconseja el uso de cualquier tipo de tóxicos como la rotenona por sus posibles efectos nocivos sobre el medio ambiente y otros organismos.
- Aumento de la diversidad estructural. Inclusión de apilamientos de rocas cerca del borde del agua para favorecer las actividades de tomar el sol y refugio de *Litoria aurea* (Murray y Clulow, 2009). Esta actuación se llevará a cabo en las charcas que tienen un menor porcentaje de rocas en la zona acuática, es decir en R4, R7 y R8.

### **Reintroducción de especímenes de *Litoria aurea* en el complejo minero del Monte Owen**

La reintroducción de los individuos se llevará a cabo en las charcas R4, R5, R7, R8 y NC, pertenecientes a la zona de rehabilitación, donde se localizan además otras cuatro charcas que no han sido consideradas en este estudio porque sus características como posibles hábitats de *Litoria aurea* eran peores que en las anteriores.

Los pasos, de manera sucinta, que se deben seguir en la reintroducción son los siguientes:

- Establecimiento de un programa de cría en cautividad en las instalaciones de la Universidad de Newcastle con individuos de poblaciones cercanas y resistentes a la quitridiomicosis.

- Reintroducción de renacuajos de *Litoria aurea* en las charcas seleccionadas en los últimos meses del verano austral, entre febrero y marzo, cuando las primeras lluvias hayan rellenado las charcas con agua. De esta manera los renacuajos llegarán a metamorfosearse antes del invierno para poder hibernar siendo ya juveniles. El número de renacuajos será de 150 por charca, es decir 750 en total. Aleatoriamente, se realizará un examen en 50 de los renacuajos en busca del hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis* para verificar que se encuentra ausente.
- Seguimiento de la evolución de la población. Muestreos diurnos y nocturnos para contabilizar renacuajos en las primeras fases de la reintroducción para controlar la tasa de metamorfosis de los mismos, y tras el invierno para conocer el número de juveniles y jóvenes adultos que han sobrevivido. Además se monitorearán los individuos para comprobar que se está llevando a cabo la actividad de reproducción.
- Realizar una segunda reintroducción el segundo año en función de los especímenes que hayan sobrevivido.

La reintroducción de individuos es una de las medidas que genera grandes oportunidades para la recuperación de la población de *Litoria aurea* debido al alto potencial de adaptación de la rana (Pyke y White 2001). Como característica positiva se debe tener en cuenta que *Litoria aurea* es una rana generalista (Garnham, 2009) y que la mayor parte de los lugares donde se encuentra en el estado de Nueva Gales del Sur están fuertemente perturbados por actividades humanas (Pyke y White, 1996 y 2001). En este caso, las charcas son parte del sistema de drenaje generado en la reconstrucción de una ladera del complejo minero, por lo que estas características de la rana son muy positivas en la recuperación de la población.

En cambio, y frente a todas estas cualidades que hacen que *Litoria aurea* cumpla todos los requisitos para ser reintroducida exitosamente, los pocos proyectos que se han llevado a cabo en esta dirección han fracasado en el tiempo. La mayor parte de las veces, la población se mantuvo al principio para acabar desapareciendo por la infección

del hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis* (DEC, 2005; Stockwell et al., 2008). Esto sugiere que la estructura del hábitat de *Litoria aurea*, aunque es considerado el factor más importante o influyente en el restablecimiento de la población de esta rana, podría ser tan solo una de las bases del éxito para la reintroducción. La estructura del hábitat no es el único factor que afecta al éxito de supervivencia de *Litoria aurea* y existen otros factores que afectan a la calidad del hábitat y que modifican los resultados en los diferentes proyectos de reintroducción (Garnham, 2009). Por ello se sugiere que se realice un seguimiento exhaustivo de todas las etapas de los proyectos de reintroducción de *Litoria aurea*, comenzando por la estructura del hábitat y continuando con todos los demás, como por ejemplo el que se iniciará próximamente en las islas de Kooragang y Ash, localizadas en el estado de Nueva Gales del Sur, cerca de la zona de estudio.

Si la única manera de recuperar la población de esta especie en muchas localizaciones, como ocurre en el complejo minero del Monte Owen, es mediante la reintroducción de individuos se debe conocer cuáles son los factores que están arruinando el éxito de los trabajos para poder aplicar una metodología que funcione.

## 5. Conclusiones

- 1- Como consecuencia de la naturaleza multivariante del hábitat de las especies de fauna (en nuestro caso la rana *Litoria aurea*), la caracterización física y biológica de los hábitats abarca un número casi infinito de variables y de relaciones ecológicas. Por ello, el primer obstáculo que ha de superar todo estudio aplicado es cómo seleccionar la información concreta que debe ser recopilada y muestreada acerca del hábitat de las especies. En el caso de la rana *Litoria aurea* fue clave la participación y opinión de biólogos expertos en esta especie, lo que permitió jerarquizar el orden de importancia de las variables del hábitat.
- 2- El establecimiento de una única metodología de muestreo acorde con las diferentes zonas de estudio fue una tarea complicada debido a la alta diversidad de ambientes existentes, lo que provocó dificultades de muestreo que se han tenido que solucionar de manera individual en cada charca.
- 3- A pesar de la gran cantidad de información existente a partir de diferentes fuentes de información, muchos autores sugieren que se necesita más investigación acerca de las características predictoras de la presencia de *Litoria aurea*. Sobre todo para conocer si la estructura del hábitat es la que determina la presencia o la ausencia de la rana, principalmente teniendo en cuenta que todos los estudios han sido realizados en los últimos 25 años cuando la especie ya estaba en declive. Todavía se desconocen cuales son los factores clave que han causado la disminución de la población de *Litoria aurea*.
- 4- La jerarquización de las charcas y su selección como hábitat para *Litoria aurea* no se realizó individualmente sino por grupos de charcas debido a la distribución metapoblacional que presenta la rana.
- 5- Las charcas pertenecientes a la zona de rehabilitación, que ha sido el grupo de charcas seleccionado, obtuvo la mejor clasificación en las variables más influyentes e importantes en el análisis univariante, y también se posicionaron en los puestos con mayor puntuación en el análisis multivariante.

- 6- La alta capacidad de adaptación de la rana hace prever que la propuesta de actuaciones de mejora para el conjunto de las charcas, así como para algunas charcas en concreto, maximizará el éxito de la reintroducción y se considera un paso imprescindible antes de proceder con la misma.
- 7- Se deben seguir unas pautas generales antes de realizar la reintroducción de los individuos. En concreto y como medida más importante se establece el control sanitario de las charcas y de los especímenes de cualquier especie de anfibio que se encuentre en la zona. El objetivo es controlar la posible introducción del hongo patógeno *Batrachochytrium dendrobatidis*, ya que muchos autores creen que es el causante de la falta de éxito en otros proyectos de reintroducción.

## 6. Bibliografía

- Amphibia Web. <http://amphibiaweb.org>. Consultado en mayo de 2010.
- Bloxam, Q. M. C. y Tonge, S. J. (1995). *Amphibians: suitable candidates for breeding-release programmes*. Biodiversity and Conservation 4: 639-644
- Brookfield, J. F. Y. (1986). *The evolution of r- and K-strategies*. Biological Journal of the Linnean Society 27(2): 165-178.
- Clulow, J. y Mahony M.J. (2006). *Selection and Enhancement of Green and Golden Bell Frog (Litoria aurea). Habitat ponds- Mount Owen Mine*. TUNRA Ltd; School of Environmental and Life Sciences, University of Newcastle. Mayo de 2006.
- Clulow, J. y Mahony M.J. (2007). *Mount Owen Mine: Green and Golden Bell Frog (Litoria aurea) Monitoring and Management Program*. TUNRA Ltd; School of Environmental and Life Sciences, University of Newcastle. Marzo de 2007.
- Clulow, J. y Mahony M.J. (2009). *Frogs return to Mount Owen: re-occurrence of frogs on the rehabilitated Mount Owen mining site*. TUNRA Ltd; School of Environmental and Life Sciences, University of Newcastle.
- Cree, A. (1988). *Water balance responses of the hylid frog Litoria aurea*. Journal of Experimental Zoology. 247:119-125.
- Daly, G. (1995). *Observation on the Green and Golden Bell Frog Litoria aurea (Anura: Hylidae)*. Herpetofauna 25 2-9.
- Daly, G.; Johnson, P.; Mololakis, G. Hyatt, A. y Piestch, R. (2008). *Reintroduction of Green and Golden Bell Frog Litoria aurea to Pambula on the south coast of New South Wales*. Australian Zoologist 34: 261-370.

- DEC (1995). Department of Environment and Conservation. *NSW Threatened Species Conservation Act 1995*. [www.threatenedspecies.environment.nsw.gov.au](http://www.threatenedspecies.environment.nsw.gov.au) Consultado en mayo de 2010.
- DEC (2005). Department of Environment and Conservation (2005). *Draft Recovery Plan for the Green and Golden Bell Frog (Litoria aurea)*. Febrero de 2005.
- DECC (2008a). Department of Environment & Climate Change, NSW. *Protecting and restoring Green and Golden Bell Frog habitat*. ISBN 978 1 74122945 5. Octubre de 2008.
- DECC (2008b). Department of Environment & Climate Change, NSW. *Best practice guidelines: Green and golden bell frog habitat*. ISBN 1 74122977 6. Noviembre de 2008.
- DEWHA. Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. Australian Government. *Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999*. [www.environment.gov.au/biodiversity/threatened/index.html](http://www.environment.gov.au/biodiversity/threatened/index.html) Consultado en mayo de 2010.
- Garnham, J. (2009). *The habitat requirements associated with the endangered Green and Golden Bell Frog (Litoria aurea) at Narawang Wetland, Sydney Olympic Park, New South Wales*. Tesis sin publicar. Universidad de Newcastle, Australia. Octubre de 2009.
- Gibb, T.J. y Oseto, C.Y. (2006). *Arthropod Collection and Identification. Laboratory and Field Techniques*. Elsevier Academic Press. 311 pp.
- Gillespie, G.R. (1996). *Distribution, habitat and conservation status of the Green and Golden Bell Frog Litoria aurea (Lesson 1829) (Anura: Hylidae) in Victoria*. Australian Zoologist 30(2) 199-207. Mayo de 1996.
- Goldingay, R.L. (1996). *The Green and Golden Bell Frog Litoria aurea. From riches to ruins: conservation of a formerly common species*. Australian Zoologist 30: 248-256. Mayo de 1996.

- Goldingay, R.L. (2008). *Conservation of the endangered Green and Golden Bell Frog: what contribution has ecological research made since 1996?*. Australian Zoologist 34: 334-349.
- Gómez Orea, D. y Gómez Villarino, M. (2007). *Consultoría e Ingeniería Ambiental*. Ediciones Mundi-Prensa. 696 p.
- Gosner, K. L. y Black, I. H. (1957) *The effects of acidity on the development and hatching of New Jersey frogs*. Ecology 38:256-262.
- Hamer, A.J. (1998). *Aspects of the ecology of the Green and Golden Bell Frog (Litoria aurea) on Kooragand Island, New South Wales, Australia*. Tesis sin publicar. Universidad de Newcastle, Newcastle.
- Hamer, A.J. y Mahony, M.J. (2007). *Life story of an endangered amphibian challenge the declining species paradigm*. Australian Journal of Zoology 55:79-88.
- Hamer, A.J. y Mahony, M.J. (2010). *Rapid turnover in site occupancy of a pond-breeding frog demonstrates the need for landscape-level management*. Wetlands 30:287–299. Marzo de 2010.
- Hamer, A.J., Lane, S.J, y Mahony, M.J. (2002a). *Management of freshwater wetlands for the endangered Green and Golden Bell Frog (Litoria aurea): roles of habitat determinants and space*. Biological Conservation 106 (2002) 413-424.
- Hamer, A.J., Lane, S.J, y Mahony, M.J. (2002b). *The role of introduced mosquitofish (Gambusia holbrooki) in excluding the native Green and Golden Bell Frog (Litoria aurea) from original habitats in south-eastern Australia*. Oecologia 132:445-452. Junio de 2002.
- Hamer, A.J., Lane, S.J, y Mahony, M.J. (2003). *Retreat site selection during winter in the Green and Golden Bell Frog Litoria aurea Lesson*. Journal of Herpetology 37(3): 541-545.

- Hamer, A.J., Lane, S.J, y Mahony, M.J. (2008). *Movement patterns of adult Green and Golden Bell Frogs Litoria aurea and the implications for conservation management*. Journal of Herpetology 42:397-407.
- Harden, G. J. (ed.) (1991) *Flora of New South Wales Volume 2* (New South Wales University Press: Sydney). 574 pp.
- Harden, G. J. (ed.) (1992) *Flora of New South Wales Volume 3* (New South Wales University Press: Sydney). 717 pp.
- Harden, G. J. (ed.) (1993) *Flora of New South Wales Volume 4* (New South Wales University Press: Sydney). 775 pp.
- Harden, G. J. (ed.) (2000) *Flora of New South Wales Volume 1*. Revised Ed. (New South Wales University Press: Sydney). 678 pp.
- Hastings, A. y Harrison, S. (1994). *Metapopulation dynamics and genetics*. Annual Review of Ecology and Systematics 25: 167-188.
- Heard, G. W., Robertson, P. y Scroggie, M. (2008). *Microhabitat preferences of the endangered growling grass frog Litoria raniformis in southern Victoria*. Australian Zoologist 34 (3): 414-425.
- Henao, S. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Universidad de Santo Tomás. Centro de enseñanza desescolarizada. Ediciones Usta. Bogotá, Colombia. 395 pp.
- IUCN (1987). *Position statement on the translocation of living organisms: Introductions and re-stocking*. IUCN Council, Gland, Switzerland.
- IUCN (2007). Gascon, C., Collins, J. P., Moore, R. D., Church, D. R., McKay, J. E. y Mendelson, J. R. III (eds). *Amphibian Conservation Action Plan*. IUCN/SSC Amphibian Specialist Group. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 64pp.
- IUCN (2008). *Global re-introduction perspectives*. Ed. Pritpal S. Soorae. Octubre de 2008.

- IUCN (2010). *IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2010.1 [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) Consultado en mayo de 2010.
- Krebs, C. J. (1999). *Ecological methodology*. Menlo Park, Calif.: Benjamin/Cummings. Segunda edición.
- Lillywhite, H. B., Light, P. y Chelgren, P. (1973). *The role of behavioral thermoregulation in the growth energetic of the toad, Bufo boreas*. Ecology 54: 375-383.
- López Pérez, R.A. y Becerril-Morales, F. (1999). *¿Meta...qué? ¿Metapoblación!* Ciencia y Mar. Volumen 9 29-35. Septiembre-Diciembre de 1999.
- Morgan, L.A., Buttemer W.A. (1996). *Predation by the non-native fish Gambusia holbrooki on small Litoria aurea and L. dentata tadpoles*. Australian Zoologist 30(2) 143-149.
- Murray, M. y Clulow, J. (2009). *Mount Owen Complex: 2008 Fauna Monitoring*. Forest Fauna Surveys Pty Ltd. TUNRA Ltd. Abril de 2009.
- NPWS (1999). NSW National Parks and Wildlife Service. *Threatened Species Information. Green and Golden Bell Frog. Litoria aurea (Lesson, 1829)*. Septiembre de 1999.
- NPWS (2001). NSW National Parks and Wildlife Service. *Hygiene protocol for the control of disease frogs*. Agosto de 2002.
- NPWS (2003). NSW National Parks and Wildlife Service. *Green and Golden Bell Frog*. Julio de 2003.
- NSW (2004). Department of Infrastructure, Planning, and Natural Resources. DA 14-1-2004. [www.planning.nsw.gov.au](http://www.planning.nsw.gov.au) Consultado en mayo de 2010.
- Patton, D.R (1975). *A diversity index for quantifying habitat edge*. Wildlife Society Bulletin 3: 171 -173.
- Pergolotti, D. (1995). *Green and Golden Bell Frog mortality at the Homebush Bay Olympic Site*. Herpetofauna 25, 39-41.

- PlantNET. National Herbarium of New South Wales. Royal Botanic Gardens & Domain Trust, Sydney, Australia. <http://plantnet.rbgsyd.nsw.gov.au/> Consultado en Febrero de 2010.
- Pollard, C. (2009). *Habitat determinants for the Green and Golden Bell Frog (Litoria aurea) at Haslam's Creek South, Sydney Olympic Park*. Tesis sin publicar. Universidad de Newcastle, Australia. Octubre de 2009.
- Pyke, G.H. y White, A.W. (1996). *Habitat requirements for the Green and Golden Bell Frog Litoria aurea (Anura: Hylidae)*. Australian Zoologist 30(2) 224-232. Mayo de 1996.
- Pyke, G.H. y White, A.W. (1999). *Dynamics of co-occurring frog species in three ponds utilized by the endangered Green and Golden Bell Frog Litoria aurea*. Australian Zoologist 31(1) 230-239. Junio de 1999.
- Pyke, G.H. y White, A.W. (2001). *A review of the biology of the Green and Golden Bell Frog Litoria aurea*. Australian Zoologist 31(4) 563-598. Julio de 2001.
- Pyke, G.H.; White, A.W.; Bishop, P.J. y Waldman, B (2002). *Habitat-use by the Green and Golden Bell Frog Litoria aurea in Australia and New Zealand*. Australian Zoologist 32(1): 12-31.
- SER, The Society for Ecological Restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org). Consultado en mayo de 2010.
- Simpson, E. H. (1949). *Measurement of Diversity*. Nature. 163: 168. Abril de 1949.
- Spellerberg, I. (2005). *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press. 411 pp. Agosto, 2005.
- Stockwell, M. P.; Clulow, S.; Clulow, J. y Mahony, M. (2008) *The impact of the Amphibian Chytrid Fungus Batrachochytrium dendrobatidis on a Green and Golden Bell Frog Litoria aurea reintroduction program at the Hunter Wetlands*

*Center Australia in the Hunter Region of NSW*. Australian Zoologist 34 (3) 379-386.

- Tews, J., Browse, U., Grimm, V. Tielborger, K. C., Schwager, M. Y Jeltsc, F. (2004). *Animal species diversity driven by heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures*. Journal of Biogeography 31: 79-92.
- White, A.W y Pyke, G. H. (1996). *Distribution and conservation status of the Green and Golden Bell Frog Litoria aurea in New South Wales*. Australian Zoologist 30(2) 177-189. Mayo de 1996.
- White, A.W y Pyke, G. H. (2008). *Green and Golden Bell Frog Litoria aurea in New South Wales: current status and future prospects*. Australian Zoologist 34(3) 319-333.
- White, A.W. (1995). *The Green and Golden Bell Frog*. Frog Facts 5: 1-4.
- Xstrata Coal Australia. [www.mtowencomplex.com.au](http://www.mtowencomplex.com.au). Consultado en mayo de 2010.