

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE EFLUENTES: MODELO DE REGRESIÓN TEMPERATURA AIRE-AGUA**

**Marta Saracho, Norma Rodríguez, Víctor Luque<sup>1</sup>, Carlos Rodríguez<sup>1</sup>, Adolfo Iriarte<sup>1,2</sup>, Gloria Plaza<sup>3</sup>**

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNCa.  
Avda Belgrano 300. (4700) S.F. del V. de Catamarca  
Tel: 03833-420900 Fax: 03833-435094  
Email: [cdrodriguez@arnet.com.ar](mailto:cdrodriguez@arnet.com.ar)

**RESUMEN:** Las Lagunas de Estabilización son sistemas de tratamiento biológico de efluentes, donde la velocidad de la degradación de la materia orgánica y la reducción de bacterias coliformes fecales depende básicamente de la temperatura del líquido y de la luz solar. El objetivo es determinar el modelo y grado de correlación entre las temperaturas del aire y del agua de las lagunas de estabilización de la Capital de Catamarca, período Noviembre 2004 – Julio 2005. Se midieron las temperaturas del líquido y del aire, utilizando un circuito integrado LM35 y un panel fotovoltaico. Se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales a las variables estudiadas. Se encontraron correlaciones para medianas y promedios mensuales, semanales y diarios de las temperaturas del aire y del agua. Obteniéndose el mayor coeficiente de correlación para el caso de promedios mensuales ( $r = 0,986$ ;  $p = 0,000$ ), cuyo modelo de regresión tiene como coeficientes ( $\alpha = 12,994$ ;  $\beta = 0,491$ ). Los resultados obtenidos permitirán diseñar unidades para condiciones climáticas similares.

**Palabras Claves:** Temperatura agua-aire; Lagunas de estabilización

### **INTRODUCCIÓN**

Las Lagunas de Estabilización son sistemas económicos de tratamiento biológico de efluentes, por los bajos requerimientos energéticos y costos de mantenimiento, unidos a la simple operación. En estos sistemas, la calidad del efluente está determinada por las condiciones climáticas y principalmente, por la temperatura y la luz solar (Yanez,F, 2000). Estudios realizados sobre el comportamiento de esta variable en países con climas tropicales y subtropicales han determinado que las lagunas de estabilización absorben calor vía radiación de onda corta y larga, y que la temperatura del líquido permanece varios grados por encima de la temperatura del aire, durante la mayor partes del año (Burgers, 1982; Auerswald, 1979) con menores diferencias durante los períodos de invierno (Vargas y Sanchez, 1972).

Un procedimiento de cálculo de la temperatura de las lagunas es el uso de correlaciones obtenidas con mediciones de temperatura del líquido y del ambiente en instalaciones existentes, pero su uso está limitado a condiciones climáticas similares (Yanez 1993). Los principales modelos desarrollados y correlaciones son los obtenidos en Campina Grande Brasil:  $T_{\text{agua}} = 10,966 + 0,611 T_{\text{aire}}$  con  $r = 0,862$ , (Auerswald, 1979); Lima Perú :  $T_{\text{agua}} = 10, 443 + 0,688 T_{\text{aire}}$  con  $r = 0,909$  (Burgers, 1982); Melipilla, Chile  $T_{\text{agua}} = 3,685 + 1,137 T_{\text{aire}}$  con  $r = 0,985$  (Vargas y Sanchez, 1972), Amman, Jordania  $T_{\text{agua}} = 2,688 + 0,945 T_{\text{aire}}$  con  $r = 0,988$  (Yanez y Pescod, 1988), y en la zona sur, Chile  $T_{\text{agua}} = 1,7 + 0,94 T_{\text{aire}}$  (Homsí, 1997).

No se conocen estudios similares para las lagunas de estabilización de la Capital de Catamarca; razón por la cual es importante analizar las variables involucradas a fin de optimizar su funcionamiento. La eficiencia de degradación de la materia orgánica y de remoción bacteriológica determinada experimentalmente en el sistema en estudio durante de período Julio-Agosto del año 2004 fueron de 63,6 % y de 99,9% respectivamente (Saracho et al., 2004). El principal problema que se origina en el sitio de vuelco del efluente de las lagunas, es que el cauce del río permanece seco la mayor parte del año, por lo cual no hay posibilidad de dilución del vuelco y auto depuración del curso de agua. Esta descarga sobre un área altamente permeable origina riesgos de contaminación del recurso hídrico subterráneo, en especial en perforaciones ubicadas aguas abajo de la planta y utilizadas para abastecimiento a la población.

El objetivo de este trabajo es determinar el modelo y el grado de correlación entre la temperatura del aire y del líquido del sistema de lagunas de estabilización de la Capital de Catamarca, para encontrar la temperatura de operación más crítica de este sistema en el período de estudio. El modelo obtenido permitirá predecir la eficiencia de remoción bacteriológica y orgánica del sistema de tratamiento de efluente en la Capital de Catamarca, en las condiciones más desfavorables, para compararlas con las condiciones de operación del sistema y diseñar otras unidades en condiciones climáticas similares.

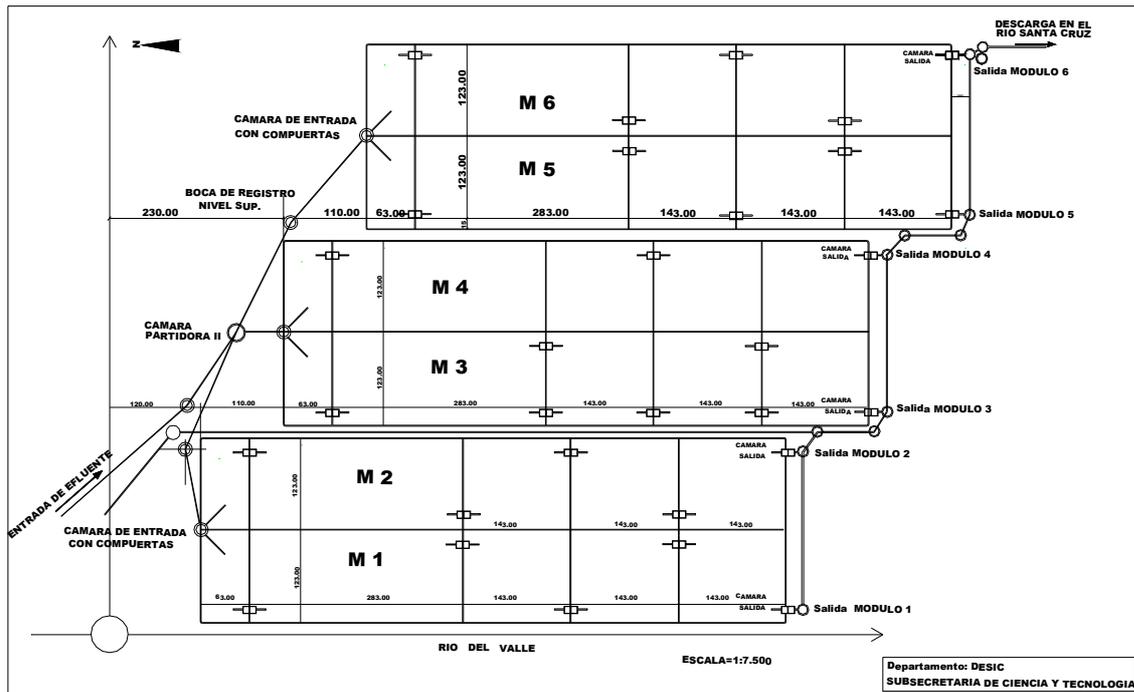
### **MATERIALES Y METODOS**

La Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, el mayor conglomerado urbano de la provincia, con una población de 141.260 habitantes y densidad habitacional de 354 hab/km<sup>2</sup> (INDEC, 2001) cuenta con una planta de tratamiento de efluentes cloacales, constituido por un sistema de lagunas de estabilización que consta de seis módulos iguales que funcionan en paralelo. Cada módulo está integrado por una serie de cinco lagunas (Figura 1): una anaeróbica, seguida de una facultativa y tres de maduración (primaria, secundaria y terciaria).

<sup>1</sup> INENCO, Catamarca

<sup>2</sup> Miembro de carrera del CONICET

<sup>3</sup> Docente-investigador Facultad de Ingeniería. UNSa



**Figura 1:** Croquis de la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales de la Capital de Catamarca

El sistema de lagunas de estabilización están ubicado al Sur- Este de la ciudad capital, entre los ríos Del Valle y Santa Cruz, sobre el margen este del río Del Valle, en la localidad de Antapoca, departamento Valle Viejo. (Plano 1). La superficie total, incluida las obras de acceso, circulación interna y la destinada a edificios y obras civiles, asciende a 1,5 km<sup>2</sup>; las lagunas ocupan una superficie de aproximadamente 0,76 km<sup>2</sup>



**Plano 1:** Ubicación de la planta de tratamiento de efluentes Cloacales de la capital de Catamarca.



**Figura 2:** Sistema de Medición alimentado por panel fotovoltaico: ubicación en cámara reguladora de niveles del módulos N° 3 de la planta de tratamiento de efluentes.



**Figura 3:** Sistema de Medición: módulo de adquisición de datos

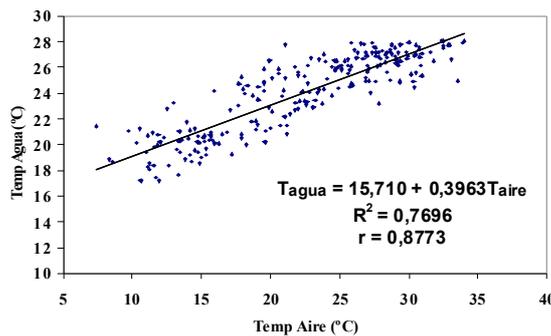
La planta, fue diseñada para tratar  $0,444 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  de efluente en seis módulos iguales. Cada uno de los módulos posee según el proyecto una capacidad de tratamiento de  $0,074 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  de efluentes, correspondiente a una población de 20.000 habitantes, con una dotación de agua potable de  $0,40 \text{ m}^3/\text{habitante}/\text{día}$  y para un valor del coeficiente de descarga de 0,8. Considerando que el 66,7% de la población actual (94.220 hab.) cuenta con servicio de red cloacal y con una dotación de  $0,400 \text{ m}^3/\text{hab.} \cdot \text{día}$  de agua potable, se generarían aproximadamente  $0,349 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  de efluente que deben ser depurados en esta planta.

Para encontrar la relación entre la temperatura del aire y la temperatura del líquido, se colocaron sensores en la cámara reguladora de niveles, de interconexión entre las lagunas anaeróbica y facultativas, pertenecientes al módulo N° 3 de la planta de tratamiento. (Figura 2). El sistema de medición esta compuesto por un modulo de adquisición de datos ADAM 4018M y un conversor RS-232 a RS-485 ADAM 4520, que permite almacenar los datos obtenidos y descargarlos mediante una computadora personal para su tratamiento. Para alimentar el sistema de medición se utilizó un panel fotovoltaico y un regulador SOLSUM 6.6X que permite el control de sistemas fotovoltaicos aislados. Como sensor de temperatura se utilizó un circuito integrado LM35 que entrega un voltaje linealmente proporcional a la temperatura. (Figura 3). Las mediciones se realizaron cada 15 minutos en el período Noviembre 2004 a Julio del 2005.

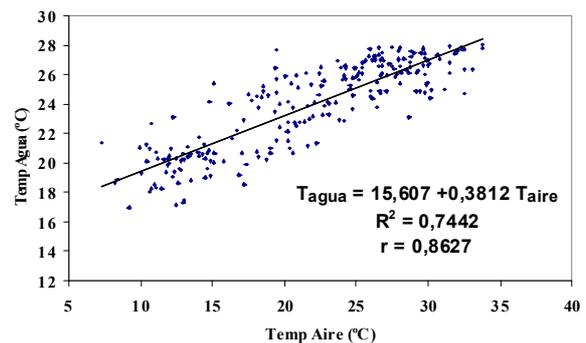
Se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas a las variables en estudio. Para encontrar el coeficiente de correlación se trabajó con las medianas y promedios mensuales, semanales y diarios de las temperaturas del aire y del agua. En función del diseño, los módulos del sistema en estudio trabajan bajo condiciones hidráulicas similares y sometidos a iguales factores climáticos. Teniendo en cuenta que el análisis se realizó con los datos de temperatura del aire y del agua medidas en el módulo N° 3, se aplicó la técnica de regresión lineal para obtener el modelo de las temperaturas agua-aire. Se calculó el coeficiente de correlación entre los promedios mensuales de las temperaturas medidas y se determinó la significación con el test de hipótesis de dicho coeficiente (utilizando un nivel de significación de 0,05); lo que permite generalizar los resultados obtenidos a todo el sistema de laguna de estabilización.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Gráficos 1, 2, 3 y 4, se muestran las correlaciones encontradas entre los valores promedios y medianas diarios, semanales y mensuales de las temperaturas del liquido y del aire ( $n = 26.208$ ) medidos en el módulo 3 del sistema de tratamiento de efluentes de la ciudad Capital durante el período Noviembre 2004- Julio 2005.

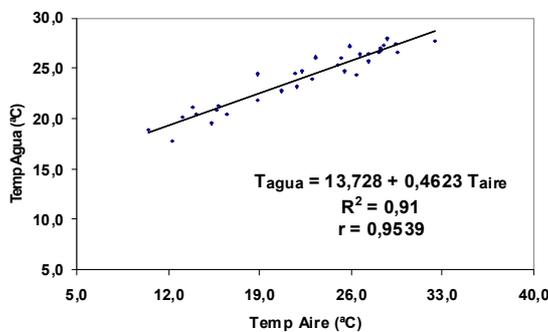


**Gráfico N° 1:** Correlación entre el promedio diario de las temperaturas aire-agua

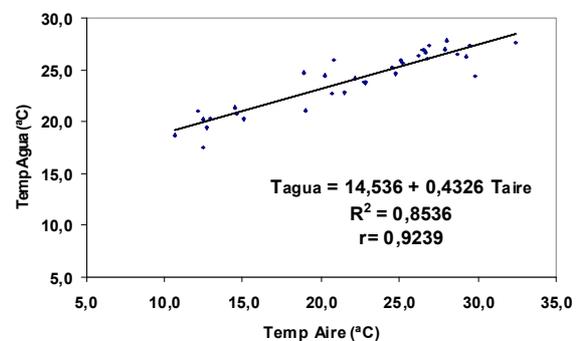


**Gráfico N° 2:** Correlación entre la mediana diaria de las temperaturas aire-agua

El grado de asociación entre los valores promedios diarios de la temperatura del aire y del agua ( $r = 0,8773$ ) es mayor que el obtenido entre los valores de las medianas diarias ( $r = 0,8627$ ).



**Gráfico N° 3:** Correlación entre el promedio semanal de las temperaturas aire-agua



**Gráfico N° 4:** Correlación entre la mediana semanal de las temperaturas aire-agua.

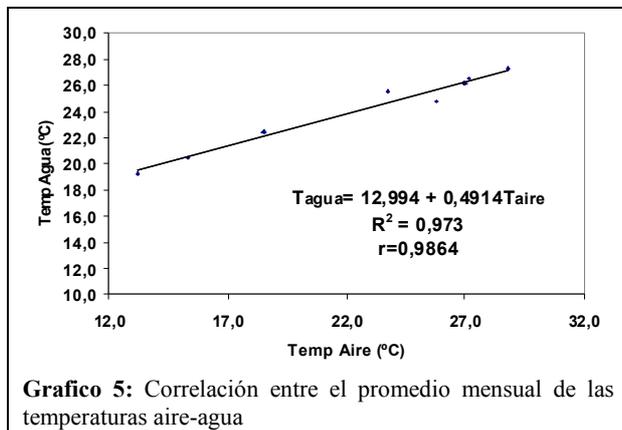
Al comparar los coeficientes de correlación obtenidos entre los promedios semanales de las temperaturas aire-agua y las medianas semanales de ambas temperaturas, el valor de dicho coeficiente para el promedio ( $r = 0,9539$ ) es mayor que para las medianas ( $r = 0,9239$ ).

Luego se analizó los promedios y desvío estándar mensuales de las temperaturas del aire y del agua, en el periodo de estudio, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 1, valores medidos en la cámara reguladora de niveles de interconexión entre las lagunas anaeróbica y facultativas, pertenecientes al módulo N° 3 de la planta de tratamiento de efluentes de la ciudad Capital.

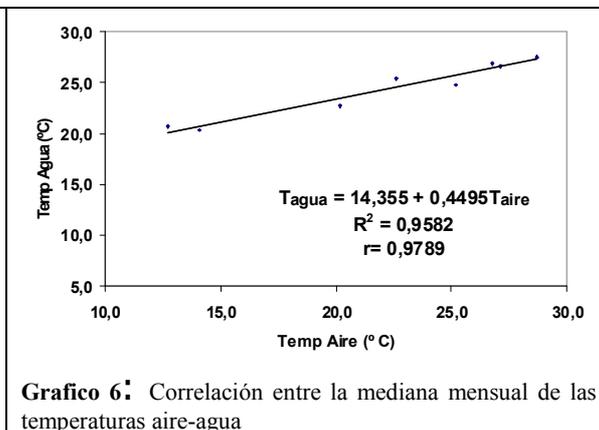
Meses	Temperatura Promedio Mensual del Aire (°C)	Temperatura Promedio Mensual del Agua (°C)	Temperatura Mediana Mensual del Aire (°C)	Máximos Mínimos Temp. Mediana Aire (°C)	Temperatura Mediana Mensual del Agua (°C)	Máximos Mínimos Temp. Mediana Agua (°C)
Noviembre	25,81±4,32	24,78±0,95	25,2	32,53 16,18	24,78	26,42 22,90
Diciembre	26,99±2,91	26,63±0,06	27,14	33,13 19,45	26,62	26,91 26,13
Enero	28,84±3,80	27,23±0,83	28,70	33,79 17,49	27,53	28,07 24,71
Febrero	27,18±2,88	26,50±1,07	26,79	30,77 17,71	26,90	27,59 24,21
Marzo	23,75±3,97	25,47±0,80	22,59	31,46 14,81	25,39	27,16 24,14
Abril	18,52 ± 4,44	22,40±1,06	20,20	24,14 7,36	22,70	24,57 20,84
Mayo	15,33 ± 2,88	20,46±0,75	14,07	22,25 10,35	20,32	21,75 19,08
Junio	13,21 ± 2,28	19,25 ± 1,14	12,73	18,16 8,20	20,71	21,75 19,19
Julio	12,74 ± 3,58	18,14 ± 0,86	12,22	20,66 5,19	17,7	19,81 17,14

**Tabla 1:** Estadística descriptiva de las temperaturas mensuales del aire y del agua en la Laguna Facultativa. (Módulo 3 del Sistema Lagunas de Estabilización. Capital de Catamarca).

Se comprueba que los promedios mensuales de la temperatura del aire superan los del agua en los meses de Noviembre de 2004 a Febrero de 2005, invirtiéndose esa relación a partir del mes de Marzo. Situación similar se observa para las medianas solamente entre los meses Noviembre 2004 a Enero del 2005.



**Gráfico 5:** Correlación entre el promedio mensual de las temperaturas aire-agua



**Gráfico 6:** Correlación entre la mediana mensual de las temperaturas aire-agua

El mayor coeficiente de correlación entre la temperatura del agua y del aire se obtuvo procesando los promedios mensuales ( $r = 0,9864$ ), al aplicar el test de hipótesis para dicho coeficiente se ha obtenido un  $p = 0,000$ . El coeficiente encontrado resulta superior a los obtenidos por los siguientes investigadores: Auerswald en Campina Grande, Brasil en el año 1978 ( $r = 0,862$ ); Burgers en Lima Perú, para un período comprendido entre marzo y mayo de 1982 ( $r = 0,909$ ); Vargas y Sánchez en Melipilla, Chile con datos promedios mensuales del año 1972 ( $r = 0,985$ ) e inferiores a los calculados por Yañez y Pescod en Amman, Jordania  $r = 0,987$  en el año 1988.

El modelo que mejor ajusta los datos experimentales es  $T_{\text{agua}} = 12,994 + 0,4914 T_{\text{aire}}$  corresponde a las temperaturas promedio mensuales, con un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,973$ , lo que indica que el ajuste del modelo es muy bueno. Los intervalos de confianza para los coeficientes de regresión  $\alpha$  y  $\beta$  son de (11,102-14,886) y (0,410-0,573); y niveles de significación de  $p = 0,000$  en ambos casos.

## CONCLUSIONES

El grado de asociación entre los valores promedios diarios de la temperatura del agua y del aire ( $r = 0,8773$ ) es mayor que el obtenido entre los valores de las medianas diarias ( $r = 0,8627$ ).

Al comparar los coeficientes de correlación obtenidos entre los promedios semanales de las temperaturas agua-aire y las medianas semanales de ambas temperaturas, es mayor el valor de dicho coeficiente para los promedios ( $r = 0,9539$ ) que para las medianas ( $r = 0,9239$ ).

El mayor coeficiente de correlación entre la temperatura del agua y del aire se obtuvo procesando los promedios mensuales ( $r = 0,9864$ ), valor éste que es altamente significativo ( $p = 0,000$ ); y que comparado con los obtenidos por otros investigadores resultó superior.

El modelo que mejor ajusta los datos experimentales es  $T_{\text{agua}} = 12,994 + 0,4914 T_{\text{aire}}$ , que corresponden a las temperaturas promedio mensuales.

La correlación encontrada permitirá predecir la eficiencia de remoción bacteriológica y orgánica del sistema de tratamiento de efluente de la ciudad de Catamarca, en las condiciones más críticas, para compararlas con las condiciones de operación del sistema y diseñar otras unidades en condiciones climáticas similares.

## BIBLIOGRAFIA

- Auerswald W (1979) Estudio de Lagoas Facultativas na Região Nordeste do Brasil, Dissertação para o Grau de Mestre em Ciências, universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Brasil
- Bugers, L (1982). Temperature behavior in waste stabilization ponds under tropical conditions. PAHO/ CEPIS Report, Lima, Perú.
- Homsí J (1997). Situación Actual en Criterios de Diseño Lagunas de Estabilización en Chile. Seminario Internacional sobre tratamiento de Desagües Cloacales. Buenos Aires. Argentina
- Saracho M, Iriarte A, Martínez N, Rodríguez N (2004). Ajuste de los Modelos de Lagunas de Estabilización de la Capital de Catamarca. Evaluación Preliminar. II Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNCa. Tomo II, 8.
- Vargas y Sánchez (1972). Puesta en marcha y 1ra etapa de experimentación en las lagunas de estabilización de Melipilla. Publicación 1- 24. Universidad de Chile.
- Yanez y Pescod, (1988) Wastewater Treatment and Reuse in Jordan. UNDP/World Bank Integrated Resource Recovery Project, Joint Mission Report.
- Yanez, F. (1993) Lagunas de Estabilización, Teoría, Diseño, Evaluación y Mantenimiento. Cuenca, Ecuador.
- Yáñez, F. (2000) Aspectos Destacados en la Tecnología de Lagunas de Estabilización. Seminario Internacional Tratamiento de Aguas Servidas. AIDIS. Porto Alegre. Brasil.

**ABSTRACT:** The Stabilization Ponds are systems of biological treatment of effluents, where the degradation speed of organic matter and the reduction of faecal coliform bacteria depend basically on the water temperature and sun light. The objective of this paper is to determine the model and degree of correlation between temperatures of air and water in the stabilization ponds of the Capital City of Catamarca, in the period November 2004 – July 2005. The temperatures of water and air were measured using an integrated circuit LM35 and a photovoltaic panel. Inferential and descriptive statistical techniques were applied to the studied variables. Correlations for daily, weekly and monthly average and median values were found for the temperatures of air and water. The greatest coefficient of correlation was obtained in the case of monthly average values ( $r = 0,986$ ;  $p = 0,000$ ), the regression model of which has as coefficients ( $\alpha = 12,994$ ;  $\beta = 0,491$ ). The obtained results will facilitate the design of units for similar weather conditions.

**Key words:** Water-air temperature; Stabilization Ponds