



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO



DICYT
Departamento de Investigación,
Ciencias y Tecnología - UAJMS

Revista

CIENCIA SUR

Facultad de Ciencias y Tecnología

600

X1

2X

ISSN: 2518-4792 (Impreso) ISSN: 2789-4738 (En línea)

Número

10

Vol. 08

REVISTA CIENTÍFICA

Departamento de Investigación, Ciencia y Tecnología

Julio 2023

CIENCIA SUR

Revista Facultativa de Divulgación Científica-UAJMS

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho"

RECTOR: M. Sc. Lic. Eduardo Cortéz Baldiviezo

VICERRECTOR: M. Sc. Lic. Jaime Condori Ávila

SECRETARIA ACADÉMICA: M. Sc. Ing. Silvana Paz Ramírez

DIRECTOR DEL DICYT: M. Sc. Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba

AUTORIDADES FACULTATIVAS

DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA: M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

VICEDECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA: M. Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre

EDITORA:

M. Sc. Ing. Laura Karina Soto Salgado

Diagramación y Diseño:

Samuel Sánchez Quispe

Sitio web:

dicyt.uajms.edu.bo

Correo Electrónico:

dicyt.uajms.edu@gmail.com

dicyt@uajms.edu.bo

REVISTA CIENTÍFICA CIENCIA SUR

VOL. 08 N° 10

ISSN: 2518-4792 (Impreso)

ISSN: 2789-2718 (En Línea)

CONSEJO EDITORIAL

M. Sc. Ing. Laura Karina Soto Salgado
Dpto. de Topografía y Vías de Comunicación

Ph. D. Ing. Alberto Benítez Reynoso
Dpto. Estructuras y Ciencias de los Materiales

M. Sc. Arq. Ma. Antonieta Rueda Mogro
Dpto. Arquitectura y Urbanismo

M. Sc. Ing. Rene Michel Cortés
Dpto. Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales

M. Sc. Ing. Erick Ramírez Ruiz
Dpto. Biotecnología Y Ciencias de los Alimentos

M. Sc. Ing. Laura Karina Soto Salgado

EDITORA

Facultad de Ciencias y Tecnología

PRESENTACIÓN



M. Sc. Ing. Fernando E. Mur L.
DIRECTOR DICYT

Una de las particularidades de la investigación científica y tecnológica es la difusión como la publicación de los resultados para el conocimiento de los profesionales del área como de aquellos técnicos que se relacionan; en este caso particular se presentan cinco artículos con ese objetivo y también se presenta información técnica de una propuesta de obra hidráulica, que se publican en la revista "CIENCIA SUR" Número 10 Vol. 8 perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología.

La investigación científica se constituye en una función sustantiva en la educación superior, por lo que se valora el aporte de los docentes que contribuyen con su trabajo en esta edición, pero también se reconoce la participación de profesionales en procesos formativos de postgrado que contribuyen en la obtención y difusión de información técnica.

No es menos importante también reconocer en esta edición particular la difusión de características técnicas de la "Presa Carrizal", dicha información es de exclusiva responsabilidad de los profesionales presentadores, permite también contribuir con una referencia técnica, siendo esta razón muchas veces necesaria en revistas científicas, por lo que esta vez el lector tendrá información técnica específica, aprovecho la oportunidad para felicitar de manera especial a los autores como también a todo el equipo que apoya y conforma la revista "Ciencia Sur" a los miembros del Consejo Editorial y a la M.Sc. Ing. Laura K. Soto S. Editora por su compromiso y responsabilidad en la difusión y publicación científica.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

| M. Sc. Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

- 01| DETERMINACIÓN DEL MODULO DE REACCIÓN DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO ARCILLOSO DE FUNDACIÓN 1**
Almendras Saravia Armando
- 02| DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA PERMEABILIDAD EN SUELOS GRANULARES: COMPARACIÓN DE MÉTODOS. 23**
Trinidad Cinthia Baldiviezo Montalvo
Iván Castro Bautista
- 03| COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DETERMINADO EN LABORATORIO (CARGA VARIABLE) Y EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL. 35**
Laura Karina Soto Salgado
Edwin Rodrigo Martinez Cruz
- 04| OBTENCIÓN DE HARINA DE OCA VARIEDAD AMARILLA. 45**
Nilda Roxana Valdez Guerrero
Erick Ramírez Ruiz
- 05| EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL DEPARTAMENTO DE POTOSÍ – BOLIVIA (2000 – 2016). 63**
Subieta Aracena Sandra Marlene
- 06| PRESA CARRIZAL EL PROYECTO MÁS IMPORTANTE EN EL SUR DEL PAÍS. 79**
Alfonzo Vacaflor Ayo
Ivar Fernando Colodro M.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

DETERMINACIÓN DEL MODULO DE REACCIÓN DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO ARCILLOSO DE FUNDACIÓN

DETERMINATION OF THE SOIL REACTION MODULE
AS A FUNCTION OF THE BEARING CAPACITY OF THE
FOUNDATION CLAY SOIL

Autor:

¹Almendras Saravía Armando

¹Docente de la Carrera de Ingeniería Civil
Universidad Autónoma Juan Misal Saracho

Correspondencia del autor: [*almendrasmito@gmail.com*](mailto:almendrasmito@gmail.com)¹
Tarija - Bolivia

RESUMEN

Prácticamente todas las estructuras de las obras civiles deben cimentarse a cierta profundidad de la superficie del suelo, estas estructuras transmiten las cargas al terreno por medio de cimentaciones adecuadas. En un estudio geotécnico del terreno de fundación, los suelos que se encuentran por lo general, son suelos gruesos o suelos finos.

Existe bastante diferencia de comportamiento entre ambos grupos de suelos, en cuanto se refiere a las características de resistencia y deformación.

En el caso del suelo arcilloso, como terreno de apoyo, por lo general tiene un mal comportamiento, esto se debe a movimientos de compresión o expansión de este suelo.

En este caso se analizará el movimiento de “compresión del suelo”, mismo que se manifiesta como asentamientos que sufre el terreno de fundación.

En general el asentamiento de los suelos es causado por el efecto de la aplicación de cargas externas, el mismo se divide en tres amplias categorías: Asentamiento inmediato o de distorsión, asentamiento por consolidación pudiendo ser primaria o secundaria. El asentamiento final es la suma de los asentamientos.

Teniendo en cuenta que la estimación de valores de asentamientos inmediatos es importante para el diseño de fundaciones superficiales en la mayoría de los casos prácticos; por lo tanto, es conveniente tratar al suelo como un material pseudo-elástico, con parámetros “elásticos” - para estimar estos asentamientos - como E (módulo de Young), G (módulo de corte), (relación de Poisson) y k_s (coeficiente de balasto vertical) que será objeto de estudio de esta investigación.

ABSTRACT

Practically all the structures of civil works must be founded at a certain depth of the soil surface, these structures transmit the loads to the ground by means of adequate foundations. In a geotechnical study of the foundation ground, the soils found are generally coarse soils or fine soils.

There is quite a difference in behavior between both groups of soils, in terms of resistance and deformation characteristics.

In the case of clayey soil, as a support ground, it generally has a bad behavior; this is due to compression or expansion movements of this soil.

In this case, the movement of “soil compression” will be analyzed, which is manifested as settlements suffered by the foundation ground.

In general, the settlement of soils is caused by the effect of the application of external loads, it is divided into three broad categories: Immediate settlement or distortion, settlement by consolidation, which can be primary or secondary. The final settlement is the sum of the settlements.

Bearing in mind that the estimation of immediate settlement values is important for the design of shallow foundations in most practical cases; therefore, it is convenient to treat the soil as a pseudo-elastic material, with “elastic” parameters - to estimate these settlements - such as E (Young’s modulus), G (shear modulus), (Poisson’s ratio) and k_s (vertical ballast coefficient) that will be the object of study of this investigation.

Palabras Claves: Capacidad portante, Módulo de reacción del suelo de cimentación.

Keywords: Bearing capacity, Reaction module of the foundation soil.

1. INTRODUCCIÓN

Al erguirse una edificación se generan cargas, que son soportadas por la estructura, que a su vez son transmitidas al terreno, por las cimentaciones, produciendo inevitablemente deformaciones en el suelo, que se manifiestan como asentamientos.

El asentamiento de una cimentación del tipo superficial se debe a la deformación del suelo (subsistencia) en el que se apoya, causado por los esfuerzos inducidos en él, por la propia cimentación, la magnitud del fenómeno también dependerá del tipo de suelo en que se construye y el contenido de agua constituyente; por lo general para el diseño estructural de una edificación, los ingenieros realizan un análisis de capacidad de carga de fundaciones de manera rutinaria para los proyectos. Sin embargo, en muchos casos se observa que una fundación diseñada con un factor de seguridad adecuado contra la falla por corte, no implicaba necesariamente que no se pudiera generar un asentamiento excesivo de la misma.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, es fundamental el conocimiento del comportamiento entre el suelo y la estructura, es decir que, en todo estudio geotécnico, debe incluirse la estimación de las deformaciones en relación a las cargas asociadas que transfiere una fundación al terreno natural, debido a que es uno de los problemas más importantes de los proyectos de Ingeniería.

En vista de que, la interacción existente entre el suelo y la estructura influye en el diseño de las cimentaciones, existen varios métodos que simplifican este comportamiento, uno de estos es el método de balasto o modelo de winkler; la cual considera al suelo como un medio elástico, por medio de un parámetro que es el coeficiente de balasto (módulo de winkler) o módulo de reacción del suelo, dicho parámetro depende de las propiedades mecánicas terreno.

Teniendo en cuenta todo lo indicado anteriormente a continuación se resume el fundamento lógico del estudio.

FUNDACIÓN

El término fundación en ingeniería de fundaciones, tiene doble acepción. Desde el punto de vista del suelo, significa la masa de suelo que recibe las cargas de la estructura. Desde el punto de vista estructural, significa el elemento de la estructura que transmite las cargas de la superestructura al suelo de fundación.

De acuerdo a Peck (1990), El cimiento es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas al terreno. Dado que la resistencia y rigidez del terreno son, salvo raros casos, muy inferiores a las de la estructura, la cimentación posee un área en planta considerable.

Se clasifican como cimentaciones: superficial o directa (zapatas, emparrillado y losa o placa) y profunda (pilotes). Esto dependerá de la profundidad del suelo que se pretende cimentar.

Para poder realizar una buena cimentación es necesario un conocimiento previo del terreno en el que se va a construir la estructura, ante este hecho los ingenieros realizan un análisis de capacidad de carga de fundaciones de manera rutinaria para los proyectos, sin embargo, en muchos casos se observa que una fundación diseñada con un factor de seguridad adecuado contra la falla por corte, no implicaba necesariamente que no se pudiera generar un asentamiento excesivo de la misma; por lo tanto se hace imprescindible realizar análisis de asentamientos en forma independiente.

CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO

La capacidad de carga es una característica de cada sistema de suelo-cimentación, y no sólo una cualidad intrínseca del suelo. Los distintos tipos de suelos difieren en capacidad de carga, pero también ocurre que en un suelo específico dicha capacidad varía con el tipo, forma, tamaño y profundidad del elemento de cimentación que aplica la presión.

Según Crespo (2004), la capacidad de carga en una cimentación es aquella que puede ser aplicada sin producir falla o daños en la estructura soportada. La carga admisible no depende únicamente del terreno, sino también el tipo de cimentación, característica de la

estructura y el coeficiente de seguridad que se adopte.

Terzaghi (1943) fue el primero en presentar una teoría completa para evaluar la capacidad de carga última de cimentaciones aproximadamente superficiales. Y expresó la capacidad de carga última para cimentaciones: continua, cuadrada y circular; en función de la cohesión - peso específico del suelo, profundidad de desplante y factores de capacidad de carga que están en función del ángulo de fricción del suelo'. Teniendo en cuenta que las expresiones de Terzaghi para evaluar la capacidad de carga última, son sólo para cimentaciones continuas, cuadradas y circulares; no abordan el caso de cimentaciones rectangulares ($0 < B/L < 1$). Además, las ecuaciones no toman en cuenta la resistencia cortante a lo largo de la superficie de falla en el suelo arriba del fondo de la cimentación, asimismo, la carga sobre la cimentación podría estar inclinada. Para tomar en cuenta todos estos factores, Meyerhof (1963) una ecuación general de la capacidad de carga, que toma en cuenta, además de la cohesión, peso específico del suelo y el esfuerzo efectivo a nivel del fondo de la cimentación; toma en cuenta el ancho de la cimentación, factores de forma, profundidad, inclinación de la carga y capacidad de carga. (Braja M., 2012)

FENÓMENO DEL ASENTAMIENTO

En el contexto regional, para el diseño estructural, los ingenieros desarrollan análisis de capacidad de carga de fundaciones de manera rutinaria para los proyectos. Sin embargo, en la actualidad, varios ingenieros observaron que una fundación diseñada con un factor de seguridad adecuado contra la falla por corte, no implicaba necesariamente que no se pudiera generar un asentamiento excesivo de la misma. De igual forma, aun cuando se disponía de métodos para efectuar análisis de asentamientos, tales análisis, si se realizaban, eran considerados secundarios.

(Braja M., 2015) Un aumento de esfuerzo causado por la construcción de cimientos u otras cargas comprime las capas de suelo. La compresión es causada por (a) la deformación de partículas del suelo, (b) la reorientación de las partículas del suelo y (c) la expulsión de aire o

agua de los espacios vacíos. En general, el asentamiento del suelo causado por la carga puede dividirse en dos amplias categorías:

1. Asentamiento elástico o inmediato, que es causado por la deformación elástica del suelo seco y de los suelos húmedos y saturados sin ningún cambio en el contenido de humedad. Los cálculos de los asentamientos elásticos se basan generalmente en ecuaciones derivadas de la teoría de la elasticidad.
2. Asentamiento de consolidación, que es el resultado del cambio de volumen en un suelo cohesivo saturado debido a la expulsión de agua intersticial. El asentamiento de consolidación es dependiente del tiempo. Asentamiento por consolidación primaria: Se puede presentar en años en suelos de media a baja permeabilidad generalmente en suelos arcillosos plásticos con condiciones de drenaje y saturados. Asentamiento por consolidación secundaria: Se presenta después que el agua drenable es expulsada del suelo. Esto puede ocurrir con el tiempo con una tensión efectiva constante en suelos arcillosos plásticos con condiciones de drenaje y saturados.

Si: Asentamiento inmediato

Scp: Asentamiento por consolidación primaria

Scs: Asentamiento por consolidación secundaria

De lo anterior se deduce que, el asentamiento total puede expresarse de la siguiente manera:

Asentamiento total

$$ST = Si + Scp + Scs$$

ASENTAMIENTO ELÁSTICO

La compresión ocurre de inmediato después de la aplicación de la carga. Movimiento vertical debido a la deformación (vertical) elástica del medio poroso. En este tipo de asentamiento la deformación elástica vertical es relevante a otra deformación. Para emplear esta teoría, se realizan algunas hipótesis sobre el suelo:

- > Es considerado un medio elástico
- > El suelo es un medio continuo

- El suelo es un material homogéneo
- El suelo es un material isotrópico
- La relación esfuerzo-deformación del suelo es lineal

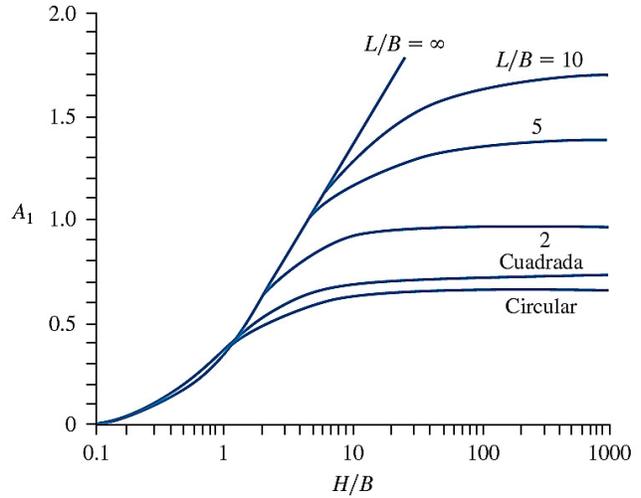
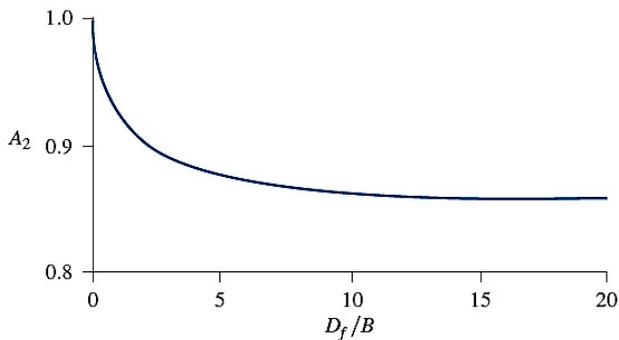
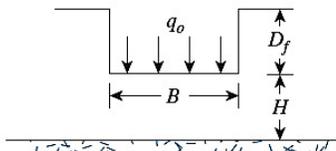
Janbu y colaboradores (1956) propusieron una ecuación para evaluar el asentamiento promedio de cimentaciones flexibles sobre suelos de arcilla saturada (relación de Poisson, $\nu = 0.5$). Para la notación utilizada en la figura 1.1, esta ecuación es:

$$S_e = A_1 A_2 \frac{q_o B}{E_s}$$

Donde A_1 es una función de H/B y L/B , y A_2 es una función de D_f/B .

Christian y Carrier (1978) modificaron los valores de A_1 y A_2 hasta cierto grado como se indica en la figura 1.1.

Figura 1.1 Valores de A_1 y A_2 para el cálculo del asentamiento elástico



Fuente: Braja M., D. (2012). Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones.

MODULO REACCIÓN SUELO DE CIMENTACIÓN

Como se indicó en párrafos anteriores, cuando una estructura transmite sus cargas al terreno a través de la cimentación, se producen inevitablemente deformaciones (generalmente asentamientos).

Para analizar este problema, se propone hacerlo desde el estudio de la Interacción entre fundaciones y superestructura, denominado por algunos autores con las siglas ISE (Interacción Suelo Estructura). Este estudio se basa en mantener la relación y transferencia de cargas desde la superestructura a la Infraestructura, tomando en cuenta que las fundaciones se encuentran apoyadas en un material flexible, no infinitamente rígido como se suponía o asumía generalmente, lo que conlleva al estudio de las deformaciones en el apoyo y las repercusiones en el estado de esfuerzos y desplazamientos en la Superestructura.

En el modelo de ISE pueden existir varios métodos de aplicación, entre los más comunes se encuentran el Método de Winkler; el mismo contempla la representación del suelo como un resorte cuyo valor de rigidez se denomina Coeficiente de Balasto, el cual depende de la carga aplicada y la deformación del terreno, por tanto, varía en cada superficie de contacto de acuerdo a la geometría de la fundación.

El Método de Winkler usando el Módulo de Balasto o Coeficiente de Reacción, se tiene una aproximación a la respuesta del suelo en las fundaciones superficiales y profundas, debido a que representa la reacción del suelo o su módulo de rigidez, sin embargo, este coeficiente, también depende de los valores de carga transmitida por la superestructura, la geometría - tipo de la fundación, y de las propiedades mecánicas del suelo de apoyo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como el enfoque metodológico de la investigación es cuantitativo, se procedió a la recolección de datos para probar la hipótesis “La aplicación de un proceso metodológico permitirá estimar el módulo de reacción del suelo, considerando la capacidad portante del terreno arcilloso de fundación.”, los mencionados datos fueron obtenidos de ensayos ejecutados in situ y en laboratorio.

El tipo de investigación aplicado es explicativa, se destaca porque va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos, o del establecimiento de relaciones entre variables. La variable independiente se establece (capacidad portante del suelo arcilloso de fundación), pero no se manipula y lo que se hizo es observar el impacto de esta en la variable dependiente (módulo de reacción del suelo), estimada a partir de la aplicación del proceso metodológico.

Los métodos de investigación aplicados fueron: Lógicos y empíricos.

Lógico: Se aplicó el método Hipotético-deductivo, porque se propone una hipótesis; para luego arribar a esta hipótesis mediante procedimientos deductivos, como consecuencia de la aplicación de la expresión del coeficiente de permeabilidad por los métodos edométrico y de carga variable.

Empírico: Se utilizó la observación científica, porque se efectuó una percepción directa del proceso de obtención de variables que influyen en el módulo de reacción del suelo de cimentación, recabando información del suelo como se presenta en la naturaleza, sin modificarlo o alterarlo.

Seguidamente se procedió a elaborar la Introducción del artículo, mediante la búsqueda de fuentes bibliográficas de diferentes autores que han escrito sobre el tema a desarrollar, en este caso: Fundación, capacidad de carga del suelo, fenómeno del asentamiento, asentamiento elástico y módulo reacción suelo de cimentación.

Para ejecutar los ensayos de laboratorio, se procedió a realizar el muestreo, teniendo en cuenta que, el objeto de estudio son los suelos arcillosos, por lo tanto, se identificó lugares en los cuales predominaba este tipo de suelos; para tal objetivo se llevó a cabo la identificación visual y manual tomando en cuenta técnicas que recomienda la norma ASTM D 2488, para la identificación de este tipo de suelos finos in situ.

Se identificó de suelo arcilloso en diversos puntos del barrio el Constructor, seguidamente se procedió a realizar la excavación de pozos para ejecutar el ensayo de SPT, extraer muestras de suelos, para ser llevadas a laboratorio, y efectuar los ensayos de caracterización, dando como resultado, de acuerdo a la clasificación SUSC un tipo de suelo CL (arcilla inorgánica de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas). Asimismo, se llevó adelante las pruebas de gravedad específica de sólidos del suelo, resistencia a la carga última.

Posteriormente se procedió a realizar el procesamiento de datos, para estimar la cohesión no drenada y el módulo de elasticidad, la capacidad portante del suelo, asentamiento elástico y finalmente el módulo de reacción del suelo.

3. RESULTADOS

De los ensayos de laboratorio para determinar la caracterización y propiedades de las muestras de suelo arcilloso - como parte del desarrollo experimental de la investigación - se obtuvieron los siguientes resultados.

- **Parámetros de identificación, estado y geomecánicas. -**

Tabla 3.1. Características y propiedades del suelo.

Sondeo	Clasificación S.U.C.S.	Humedad natural (w%)	Gravedad específica (Gs)	Relación de Vacíos (e)	Porosidad (n)
Sondeo 1	CL	14.52	2.69	0.391	0.281
Sondeo 2	CL	12.85	2.66	0.342	0.255
Sondeo 3	CL	14.06	2.70	0.380	0.275
Sondeo 4	CL	13.42	2.68	0.360	0.265

Fuente: Elaboración propia.

Angulo de fricción interna (ϕ): Como la arcilla en un suelo de tipo fino, la permeabilidad es muy baja por lo tanto se considera la cohesión no drenada C_u y en este caso el ángulo de fricción para suelo CL es 0.

Tabla 3.2. Características y propiedades del suelo.

Sondeo	γ_d (kg/m ³)	γ_{sat} (kg/m ³)	q_u (kg/cm ²)	C_u (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
Sondeo 1	1934.43	2215.31	1.96	0.98	320.87
Sondeo 2	1982.40	2237.13	2.15	1.08	407.89
Sondeo 3	1957.06	2232.22	2.01	1.01	342.63
Sondeo 4	1971.09	2235.61	2.10	1.05	386.14

Fuente: Elaboración propia.

- **Esfuerzo actuante y la capacidad portante.-**

Variando las dimensiones de las zapatas, con el fin de que el esfuerzo real (Q_{real}) fuera menor al esfuerzo último (Q_{ult}) del suelo dividido por un factor de seguridad de tres ($FS = 3$) que se denominó q_{FS} .

A partir de la fórmula general de Meyerhof citada en el capítulo III, la capacidad o esfuerzo último fue determinada para las zapatas con los factores correspondientes.

Generalmente en el análisis estructural de una edificación, en los puntos de apoyo, surgen reacciones, que se pueden distinguir como máxima, intermedia y mínima de acuerdo al valor de carga que transmiten al suelo de fundación, se definieron tres tipos de zapatas, de acuerdo a la magnitud de carga que transmiten al suelo de fundación:

Tabla 3.3. Dimensiones de zapatas para las cargas consideradas. Sondeo 1

Zapata	γ_{sat} (kg/m ³)	F (kg)	B (m)	L (m)	qv (kg/m ²)	Df (m)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)
Za1	2215.31	85000	1.8	1.8	26234.57	2.2	0	0.98
Zb1		65000	1.5	1.5	28888.89			
Zc1		45000	1.3	1.3	26627.22			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Dimensiones de zapatas para las cargas consideradas. Sondeo 2

Zapata	γ_{sat} (kg/m ³)	F (kg)	B (m)	L (m)	qv (kg/m ²)	Df (m)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)
Za2	2237.13	85000	1.6	1.6	33203.13	2	0.00	1.08
Zb2		65000	1.4	1.4	33163.27			
Zc2		45000	1.2	1.2	31250.00			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5. Dimensiones de zapatas para las cargas consideradas. Sondeo 3

Zapata	γ_{sat} (kg/m ³)	F (kg)	B (m)	L (m)	qv (kg/m ²)	Df (m)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)
Za3	2232.22	85000	1.7	1.7	29411.76	2.2	0.00	1.01
Zb3		65000	1.5	1.5	28888.89			
Zc3		45000	1.3	1.3	26627.22			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6. Dimensiones de zapatas para las cargas consideradas. Sondeo 4

Zapata	γ_{sat} (kg/m ³)	F (kg)	B (m)	L (m)	qv (kg/m ²)	Df (m)	ϕ (°)	c (kg/cm ²)
Za4	2235.61	85000	1.7	1.7	29411.76	2	0.00	1.05
Zb4		65000	1.5	1.5	28888.89			
Zc4		45000	1.2	1.2	31250.00			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.14 Valores de esfuerzo último, esfuerzo con factor de seguridad y esfuerzo real considerando las cargas respectivas. Sondeo 1

Zapata	Capacidad Ultima	Capacidad con FS=3	Esfuerzo Real	Verificación
	qult (kg/cm ²)	qFS (kg/cm ²)	qREAL (kg/cm ²)	qreal<qFS
Za1	8.58	2.860	2.623	Cumple
Zb1	8.82	2.940	2.889	Cumple
Zc1	8.94	2.980	2.663	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.15 Valores de esfuerzo último, esfuerzo con factor de seguridad y esfuerzo real considerando las cargas respectivas. Sondeo 2

Zapata	Capacidad Ultima	Capacidad con FS=3	Esfuerzo Real	Verificación
	qult (kg/cm ²)	qFS (kg/cm ²)	qREAL (kg/cm ²)	qreal<qFS
Za2	9.39	3.130	3.320	Cumple
Zb2	9.52	3.174	3.316	Cumple
Zc2	9.72	3.240	3.125	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.16 Valores de esfuerzo último, esfuerzo con factor de seguridad y esfuerzo real considerando las cargas respectivas. Sondeo 3

Zapata	Capacidad Última	Capacidad con FS=3	Esfuerzo Real	Verificación
	qult (kg/cm ²)	qFS (kg/cm ²)	qREAL (kg/cm ²)	qreal<qFS
Za3	8.91	2.971	2.941	Cumple
Zb3	9.04	3.012	2.889	Cumple
Zc3	9.16	3.053	2.663	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.17 Valores de esfuerzo último, esfuerzo con factor de seguridad y esfuerzo real considerando las cargas respectivas. Sondeo 4

Zapata	Capacidad Última	Capacidad con FS=3	Esfuerzo Real	Verificación
	qult (kg/cm ²)	qFS (kg/cm ²)	qREAL (kg/cm ²)	qreal<qFS
Za4	9.12	3.039	2.941	Cumple
Zb4	9.25	3.082	2.889	Cumple
Zc4	9.50	3.168	3.125	Cumple

Fuente: Elaboración propia

• **Valores de asentamiento.-**

Con base a los esfuerzos de contacto como función del esfuerzo ultimo calculado para cada dimensión de fundación propuesta (qreal, 0.20qult, 0.45qult, 0.60qult, 0.80qult y qult) y asumiendo la condición ideal elastoplástica de los suelos (figura 1.1), se calculó para cada fundación (Za, Zb, Zc), el valor de asentamiento Se, aplicando las fórmulas simplificados de asentamientos promedios (teoría elástica).

$$Se = A_1 A_2 \frac{q_0 * B}{E_s}$$

Valores de Asentamiento Sondeo 1

Asentamiento Se Zapata Za1

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.716	2.623	3.861	5.148	6.864	8.580
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
320.87	0.488	0.746	1.098	1.464	1.953	2.441

Fuente: Elaboración propia

Asentamiento Se Zapata Zb1

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.764	2.889	3.969	5.292	7.056	8.819
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
320.87	0.434	0.711	0.976	1.301	1.735	2.169

Fuente: Elaboración propia

Asentamiento Se Zapata Zc1

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.788	2.663	4.023	5.364	7.151	8.939
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
320.87	0.395	0.589	0.890	1.186	1.582	1.977

Fuente: Elaboración propia

Valores de asentamiento Sondeo 2

Asentamiento Se Zapata Za2

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.878	3.320	4.225	5.634	7.512	9.390
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
505.78	0.378	0.668	0.850	1.134	1.512	1.889

Fuente: Elaboración propia

Asentamiento Se Zapata Zb2

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.904	3.316	4.285	5.713	7.617	9.521
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
505.78	0.347	0.605	0.781	1.042	1.389	1.736

Fuente: Elaboración propia

Asentamiento Se Zapata Zc2

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.944	3.125	4.373	5.831	7.775	9.719
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
505.78	0.312	0.502	0.703	0.937	1.249	1.561

Fuente: Elaboración propia

Valores de asentamiento Sondeo 3

Asentamiento Se Zapata Za3

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.783	2.941	4.011	5.348	7.130	8.913
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
342.63	0.454	0.749	1.021	1.361	1.815	2.268

Fuente: Elaboración propia

Asentamiento Se Zapata Zb3

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.807	2.889	4.066	5.421	7.229	9.036
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
342.63	0.374	0.598	0.842	1.123	1.497	1.872

Fuente: Elaboración propia

Asentamiento Se Zapata Zc3

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.832	2.663	4.121	5.495	7.327	9.159
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
342.63	0.379	0.552	0.854	1.138	1.518	1.897

Fuente: Elaboración propia

Valores de asentamiento Sondeo 4

Asentamiento Se Zapata Za4

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.823	2.941	4.103	5.470	7.294	9.117
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
386.14	0.414	0.667	0.931	1.241	1.654	2.068

Fuente: Elaboración propia

Asentamiento Se Zapata Zb4

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.849	2.889	4.161	5.548	7.397	9.246
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
386.14	0.382	0.598	0.861	1.147	1.530	1.912

Fuente: Elaboración propia

Asentamiento Se Zapata Zc4

qo	qo1 (kg/cm ²)	qo2 (kg/cm ²)	qo3 (kg/cm ²)	qo4 (kg/cm ²)	qo5 (kg/cm ²)	qo6 (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
Es	1.901	3.125	4.276	5.702	7.602	9.503
(kg/cm ²)	cm	cm	cm	cm	cm	cm
386.14	0.322	0.530	0.726	0.967	1.290	1.612

Fuente: Elaboración propia

• **Coefficientes de balasto.-**

Conocidos los valores de esfuerzo (carga) y asentamiento, se determinaron los coeficientes de balasto en cada fundación de acuerdo a la relación $q_0 = k \cdot S_e$, obteniendo valores distintos de acuerdo a los asentamientos resultantes.

Coefficiente de balasto sondeo 1

Coefficiente de Balasto k Za1

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
	1.72	2.62	3.86	5.15	6.86	8.58
K Za1 (kg/cm ³)	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Balasto k Zb1

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
	1.76	2.89	3.97	5.29	7.06	8.82
K Zb1 (kg/cm ³)	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Balasto k Zc1

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
	1.79	2.66	4.02	5.36	7.15	8.94
K Zc1 (kg/cm ³)	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52	4.52

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de balasto sondeo 2

Coefficiente de Balasto k Za2

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult qreal 0.45qult 0.6qult 0.8qult qult					
		1.88	3.32	4.23	5.63	7.51
K Za2 (kg/cm ³)	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Balasto k Zb2

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult qreal 0.45qult 0.6qult 0.8qult qult					
		1.90	3.32	4.28	5.71	7.62
K Zb2 (kg/cm ³)	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Balasto k Zc2

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult qreal 0.45qult 0.6qult 0.8qult qult					
		1.94	3.13	4.37	5.83	7.77
K Zc2 (kg/cm ³)	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de balasto sondeo 3

Coefficiente de Balasto k Za3

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
		1.78	2.94	4.01	5.35	7.13
K Za3 (kg/cm ³)	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Balasto k Zb3

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
		1.81	2.89	4.07	5.42	7.23
K Zb3 (kg/cm ³)	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Balasto k Zc3

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
		1.83	2.66	4.12	5.50	7.33
K Zc3 (kg/cm ³)	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de balasto sondeo 4

Coefficiente de Balasto k Za4

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
	1.82	2.94	4.10	5.47	7.29	9.12
K Za4 (kg/cm ³)	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Balasto k Zb4

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
	1.85	2.89	4.16	5.55	7.40	9.25
K Zb4 (kg/cm ³)	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83

Fuente: Elaboración propia

Coefficiente de Balasto k Zc4

q ₀	q ₀₁ (kg/cm ²)	q ₀₂ (kg/cm ²)	q ₀₃ (kg/cm ²)	q ₀₄ (kg/cm ²)	q ₀₅ (kg/cm ²)	q ₀₆ (kg/cm ²)
	0.2qult	qreal	0.45qult	0.6qult	0.8qult	qult
	1.90	3.13	4.28	5.70	7.60	9.50
K Zc4 (kg/cm ³)	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89

Fuente: Elaboración propia

4. DISCUSIÓN

Se puso en manifiesto en el estado del conocimiento los principales aspectos del fenómeno del asentamiento, categorías, causas y métodos de estimación.

Se aplicó una metodología basada en la definición del coeficiente de balasto, realizando el cálculo de: capacidad portante, la presión actuante de servicio, asentamiento, y finalmente el cálculo del coeficiente de balasto.

Se evidencio que las muestras extraídas de la zona de estudio, son suelos de características que contempla el tipo CL Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.

Dentro de lo que es la aplicación de la metodología ejecutada, esta se aplicó al suelo tipo CL, debido a que el mismo está presente en la mayor parte de los suelos de la ciudad de Tarija.

La cantidad de sondeos fueron en un número suficiente, de acuerdo a la norma Ecuatoriana de la Construcción: Geotecnia y Cimentaciones.

Con base al análisis entre los cuatro sondeos del suelo, se puede afirmar que a medida que el suelo es más rígido, es decir, posee un mayor módulo de elasticidad, los asentamientos en zapatas son menores.

En lo que respecta a la aplicación práctica de esta investigación, la misma se inclina hacia un planteamiento de activación para ser usado en suelo arcilloso que se encuentra en gran parte de la ciudad de Tarija.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Alba Hurtado, J. (2007). Diseño de Cimentaciones. Lima: ICG.
- Bowles, J. (1997). FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN. New York: McGraw-Hill Companies.
- Braja M., D. (2012). Fundamentos de ingeniería de Cimentaciones. México: Cengage Learning.
- Braja M., D. (2015). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Mexico: CENGAGE Learning.
- Crespo Villalaz, C. (2004). Mecanica de Suelos y Cimentaciones. Mexico: Limusa.
- Day, R. (2006). Foundation engineering handbook. McGraw-Hill.
- Delgado Vargas , M. (2000). Ingeniería de Cimentaciones. Bogota: Alfomega.
- EHE-08. (2011). Instrucción de Hormigón Estructural. España: Ministerio de Fomento.
- Freiré Tellado, M. (1999). Presiciones para el empleo del metodo del Modulo de Balasto en Edificacion . España: Univ. de A Coruña.
- Geotecnia, A. C. (2001). CÓDIGO DE CIMENTACIONES DE COSTA RICA. Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Gonzales de Vallejo, L. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- González, M. (2001). El Terreno. Barcelona: UPC.
- Harmsen, T. (2002). Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Peru: Pontificia Universidad Católica.
- INGENIERO CIVIL. (10 de Enero de 2011). Obtenido de Blog del Ingeniero Civil: <http://notasingenierocivil.blogspot.com/2011/05/cimientos-modelos-de-interaccion-modulo.html>
- Lambe, T. (1997). Mecanica de Suelos. Limusa.
- Meli Piralla, R. (2011). Diseño Estructural. Mexico: Limusa.
- Muelas Rodriguez, A. (2001). Cimentaciones Directas. Madrid: Editor independiente.
- NEC. (2015). Geotecnia y Cimentaciones. Ecuador: MIDUVI.
- Peck , R. B. (1990). Ingeniería de Cimentaciones. Mexico: Limusa.
- Poliotti, M., & Sierra, P. (s.f.). Consolidacion Unidimensional de Suelos. Rosario - Argentina: Universidad Nacional de Rosario - FCEIA.
- RNE. (2018). Norma Técnica E.50 Suelos y Cimentaciones. Peru: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Rodríguez Serquén, W. (2002). Comportamiento de un Sistema Suelo-Estructura. . III CONGRESO NACIONAL DE ESTRUCTURAS Y CONSTRUCCION ACI.
- San Bartolome, A. (1998). Analisis de Edificios. Peru: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Terzagui, K. (1995). Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction. Geotechnique, 297-326.
- Zaés, E. (2010). Fundamentos de Geotecnia. Chile: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

2

ARTÍCULO

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA PERMEABILIDAD EN SUELOS GRANULARES: COMPARACIÓN DE MÉTODOS

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PERMEABILITY IN
GRANULAR SOILS: COMPARISON OF METHODS

Autores:

Trinidad Cinthia Baldiviezo Montalvo¹

Iván Castro Bautista²

¹Ingeniera Civil, M. Sc. en Educación Superior e Ingeniería Vial

¹Docente de Ingeniería Civil y Estudiante de Doctorado en Ciencias, UAJMS

²Ingeniero Civil UAJMS

Correspondencia de los autores: baldiviezomontalvot@gmail.com
ivan.icb94@gmail.com

Tarija - Bolivia

RESUMEN

El flujo de agua a través de medios porosos, está gobernado por la ley de Darcy, quien investigó las características del flujo del agua a través de filtros, formados precisamente por materiales térreos. La permeabilidad de un suelo se refleja numéricamente en el coeficiente de permeabilidad, cuyo valor expresa la mayor o menor facilidad con la que se mueve el agua a través del suelo.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos al medir la permeabilidad de suelos granulares provenientes de los ríos La Victoria, Erquis y Tolomosa del Departamento de Tarija, usando el permeámetro de carga constante. Estos resultados se comparan con métodos indirectos que usan ecuaciones empíricas. Adicionalmente, se realizó un ajuste de las constantes de dichas ecuaciones empíricas.

También se formulan correlaciones entre los valores del coeficiente de permeabilidad medidos en laboratorio y factores granulométricos. Se presentan los modelos matemáticos correspondientes.

ABSTRACT

The flow of water through porous media is governed by Darcy's law, who investigated the characteristics of the flow of water through filters, formed precisely by earth materials. The permeability of a soil is reflected numerically in the coefficient of permeability, whose value expresses the greater or lesser ease with which water moves through the soil.

This article presents the results obtained by measuring the permeability of granular soils from the La Victoria, Erquis and Tolomosa rivers in the Department of Tarija, using the constant head permeameter. These results are compared with indirect methods that use empirical equations. Additionally, an adjustment of the constants of these empirical equations was made.

Correlations between laboratory coefficient of permeability and grain size factors are formulated. The corresponding mathematical models are presented.

Palabras Claves: Permeabilidad, suelos granulares, coeficiente de permeabilidad, correlaciones, modelos matemáticos.

Keywords: Permeability, granular soils, coefficient of permeability, correlatios, mathemattical models.

INTRODUCCIÓN

Está ampliamente demostrada la importancia de la permeabilidad de los suelos en las diferentes obras de Ingeniería Civil, tales como presas, carreteras, obras de drenaje superficial y subterráneo, obras de captación de agua para fines de abastecimiento, etc.

Entre los métodos que se tienen para determinar experimentalmente el coeficiente de permeabilidad en suelos, se tienen: el permeámetro de carga constante y el permeámetro de carga variable, siendo el primero más apropiado para suelos granulares o gruesos. A estos, deben sumarse los métodos de campo, los cuales no son objeto del presente trabajo.

Adicionalmente, se tienen los métodos indirectos, basados en ecuaciones y correlaciones empíricas como las relaciones de Hazen, Terzaghi y Schlichter.

En ese contexto, los objetivos de la presente investigación son:

- a. Determinar experimentalmente el coeficiente de permeabilidad de los suelos granulares de los ríos La Victoria, Erquis y Tolomosa, ubicados en el Valle Central de Tarija.
- b. Estimar el coeficiente de permeabilidad usando ecuaciones empíricas propuestas por algunos investigadores como Hazen, Terzaghi y Schlichter.
- c. Comparar los resultados obtenidos experimentalmente con los estimados mediante las mencionadas ecuaciones empíricas.
- d. Formular correlaciones (y sus correspondientes modelos matemáticos) entre los coeficientes de permeabilidad experimentales y otros factores, como los granulométricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En términos generales, se ha usado el método experimental para realizar las mediciones de laboratorio y el método racional para la formulación de las correlaciones y modelos matemáticos.

Se han identificado 48 puntos de muestreo de los suelos en los ríos mencionados precedentemente. Para

estas muestras se han realizado los siguientes ensayos, estimaciones y formulaciones:

- Granulometría (M D422 AASHTO T88), usando la serie de tamices 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°200.
- Contenido de humedad.
- Peso específico (ASTM D854 AASHTO T100).
- Permeabilidad, empleando el permeámetro de carga constante.
- Determinación de la porosidad y la relación de vacíos.
- Estimación del coeficiente de permeabilidad usando las ecuaciones empíricas de Hazen, Terzaghi y Schlichter.
- Para la formulación de las correlaciones y el ajuste de los coeficientes de las ecuaciones empíricas se ha usado el método de los mínimos cuadrados.

RESULTADOS

Los indicadores estadísticos de los resultados obtenidos de las mediciones en laboratorio, con el permeámetro de carga constante, así como las estimaciones realizadas con las ecuaciones de los tres autores nombrados, se presentan en los cuadros 1 y 2 para cada uno de los suelos estudiados (SW, SP, GW y GP), pertenecientes a los tres ríos.

CUADRO 1

INDICADORES ESTADÍSTICOS PERMEABILIDAD SUELOS SW Y SP

IE	SW				SP			
	K_L	K_H	K_S	K_T	K_L	K_H	K_S	K_T
n	10	10	10	10	24	24	24	24
\bar{X}	0,011	0,087	0,0095	0,021	0,014	0,128	0,016	0,038
S	0,0071	0,080	0,011	0,030	0,0079	0,119	0,018	0,049
COV	0,64	0,92	1,20	1,45	0,55	0,93	1,14	1,27
Mín	0,0019	0,029	0,0023	0,0033	0,002	0,019	0,0018	0,0024
Máx	0,025	0,294	0,040	0,103	0,028	0,458	0,075	0,200

CUADRO 2

INDICADORES ESTADÍSTICOS PERMEABILIDAD SUELOS GW Y GP

IE	GW				GP			
	K_L	K_H	K_S	K_T	K_L	K_H	K_S	K_T
n	6	6	6	6	8	8	8	8
\bar{X}	0,0076	0,087	0,01	0,01	0,013	0,137	0,016	0,037
S	0,0081	0,080	0,014	0,014	0,0079	0,142	0,022	0,059
COV	1,06	0,92	1,37	1,37	0,60	1,04	1,35	1,60
Mín	0,002	0,032	0,0026	0,0026	0,0047	0,043	0,0033	0,0039
Máx	0,024	0,248	0,038	0,038	0,029	0,445	0,067	0,177

Adicionalmente, en los cuadros 1 y 2 se percibe la gran diferencia al comparar los valores de los indicadores estadísticos de coeficientes de permeabilidad medidos en laboratorio con los estimados mediante las citadas ecuaciones.

En los cuadros 1 y 2:

IE = indicador estadístico

K_L = coeficiente de permeabilidad determinado en laboratorio (cm/s);

K_H = coeficiente de permeabilidad estimado con la ecuación de Hazen (cm/s);

K_S = coeficiente de permeabilidad estimado con la ecuación de Schlichter (cm/s);

K_T = coeficiente de permeabilidad estimado con la ecuación de Terzaghi (cm/s);

n = tamaño de la muestra o número de puntos;

X̄ = promedio aritmético;

S = desviación típica;

COV = coeficiente de variación;

Mín = valor mínimo de la serie o muestra;

Máx = valor máximo de la serie o muestra.

Los cuadros 1 y 2 precedentes reflejan una considerable diferencia entre los indicadores estadísticos de los valores del coeficiente de permeabilidad obtenidos en laboratorio y los estimados mediante las tres de los autores citados.

Una forma de minimizar estas diferencias es ajustando o modificando los valores de las constantes de cada ecuación, considerando los valores de los coeficientes de permeabilidad medidos en laboratorio.

Las tres ecuaciones se expresan algebraicamente mediante las siguientes relaciones:

$$K = C(0,7 + 0,03t)D_{10}^2 \quad (1)$$

(Hazen)

$$K = 771 \frac{D_{10}^2}{c} (0,7 + 0,03t) \quad (2)$$

(Schlichter)

$$K = C_1 D_{10}^2 (0,7 + 0,03t) \quad (3)$$

$$C_1 = C_0 \left(\frac{n - 0,13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2$$

(Terzaghi)

Donde:

K = coeficiente de permeabilidad;

C = constante de Hazen;

t = temperatura del agua en °C;

D₁₀ = diámetro efectivo del suelo (cm);

c = constante de Schlichter;

C₁ y **C₀** son las constantes de Terzaghi;

n = porosidad.

Se trata, en consecuencia, de calcular las constantes **C**, **c** y **C₀** usando estas ecuaciones y considerando los **K_L** (coeficientes de permeabilidad medidos experimentalmente).

Los indicadores estadísticos de las nuevas constantes se presentan en los cuadros 3 y 4

CUADRO 3

INDICADORES ESTADÍSTICOS DE NUEVAS CONSTANTES SUELOS SW Y SP

IE	SW			SP		
	C	c	C ₀	C	c	C ₀
n	10	10	10	24	24	24
\bar{X}	14,31	65,37	667,44	16,18	62,96	718,31
S	7,18	27,94	335,96	8,24	33,71	511,77
COV	0,50	0,43	0,50	0,51	0,53	0,71
Mín	6,62	26,74	190,08	5,69	26,5	112,21
Máx	28,84	116,52	1327,17	29,1	135,46	1900,78

CUADRO 4

INDICADORES ESTADÍSTICOS DE NUEVAS CONSTANTES SUELOS GW Y GP

IE	GW			GP		
	C	c	C ₀	C	c	C ₀
n	6	6	6	8	8	8
\bar{X}	7,3	147,24	438,06	13,86	76,24	779,41
S	3,43	121,45	209,17	8,90	42,98	658,60
COV	0,43	0,82	0,48	0,64	0,56	0,85
Mín	1,98	64,6	189,94	5,12	23,67	129,08
Máx	11,93	389,86	729,59	32,58	150,49	2055,33

Asimismo, se realizaron correlaciones entre las nuevas constantes y factores granulométricos en cada tipo de suelo. Las correlaciones y los correspondientes modelos matemáticos que arrojaron los coeficientes de correlación más altos son:

$$C = \sqrt{-677,954 + 0,614709 * (N10)^2} \tag{4}$$

R = 0,924
(Suelos SW)

$$C = \frac{1}{0,010136 + 5,47576 * (D_{30}^2)^2} \quad (5) \quad (10)$$

R = 0,906
(Suelos SP)

$$K_L = \sqrt{-0,00012446 + 0,3578 * (D_{10}^2)^2}$$

R = 0,994
(Suelos GW)

$$C = e^{(2,43184 - 0,040151 * (N200)^2)} \quad (6) \quad (11)$$

R = 0,88
(Suelos GW)

$$K_L = \frac{1}{28,569 + 20,867 * (N200)^2}$$

R = 0,922
(Suelos GP)

$$C = \frac{1}{0,45265 + 0,0979434 * \ln(D_{10})} \quad (7)$$

R = 0,744
(Suelos GP)

En las ecuaciones precedentes:

N10 = porcentaje de suelo más fino que la abertura del tamiz N° 10.

D₃₀ = tamaño de las partículas de suelos, correspondiente al 30% en la curva de granulometría.

N200 = porcentaje de suelo más fino que la abertura del tamiz N° 200.

N40 = porcentaje de suelo más fino que la abertura del tamiz N° 40.

Finalmente, quizá los resultados más importantes, consisten en correlacionar los valores del coeficiente de permeabilidad medido en laboratorio (**K_L**), con los otros parámetros también determinados en laboratorio, como los factores granulométricos, porosidad, relación de vacíos, etc.

Las correlaciones y sus correspondientes modelos matemáticos, que arrojaron los más altos coeficientes de correlación (**R**), se presentan a continuación.

$$K_L = \sqrt{-0,00048602 + \frac{0,0091124}{(N40)}} \quad (8)$$

R = 0,980
(Suelos SW)

$$K_L = \left(0,18642 - \frac{0,0016243}{D_{10}}\right)^2 \quad (9)$$

R = 0,902
(Suelos SP)

CONCLUSIONES

- Las diferencias entre los coeficientes de permeabilidad determinados experimentalmente y los estimados por las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi son considerables.
- Al ajustar (modificar) los valores de las mencionadas constantes, las diferencias citadas se hacen más pequeñas, lo que significa que las ecuaciones pueden ser usadas con un grado de aproximación razonable y con la debida precaución, en el caso de los suelos estudiados y similares.
- Se comprueba que el coeficiente de permeabilidad, medido en laboratorio, depende fundamentalmente de los parámetros granulométricos como el N40, D₁₀ y N200. Así lo muestran las ecuaciones (8), (9), (10) y (11).

- Las ecuaciones mencionadas en el párrafo precedente, permiten estimar el coeficiente de permeabilidad para los suelos investigados y similares, con un muy buen grado de precisión. Estos modelos matemáticos, válidos para los suelos de los tres ríos considerados y similares, cumplen el mismo rol que las ecuaciones de Allen Hazen, Schlichter y Terzaghi.
- Los últimos cuatro modelos matemáticos, es decir, las ecuaciones (8), (9), (10) y (11) son válidos para suelos granulares (S y G), especialmente para suelos estudiados (SW, SP, GW y GP), aunque, con la debida precaución, pueden ser usados para suelos similares de otras latitudes.

BIBLIOGRAFÍA

- ABC (Administradora Boliviana de Carreteras). Manual de ensayos de suelos y materiales. La Paz, Bolivia.
- Angelone, S. & Garibay, M. T. (2006). Permeabilidad de suelos. Rosario, Argentina.
- Benítez Reynoso, A. (2021). Propiedades Geotécnicas y Mecánicas de los Suelos: Correlaciones y Modelos Matemáticos (con énfasis en los suelos bolivianos). Imprenta Integral S.R.L., Tarija.
- Benítez Reynoso, A. (2019). Modelos Matemáticos Generales para la Predicción del CBR (California Bearing Ratio) en los Suelos Bolivianos. Ventana Científica Volumen 9 N° 15, pp. 9-24, UAJMS, Tarija.
- Benítez Reynoso, A. (2010). Modelos Matemáticos Multivariados en la Estimación de Algunas Propiedades Mecánicas de los Suelos y sus Implicaciones en la Ingeniería Vial. XX Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional de Mendoza.
- Braja, M. D. (2019). Advanced Soil Mechanics. (5ta. Ed.). Londres, Reino Unido: Taylor & Francis Inc.
- Braja, M. D. (2013). Fundamentos de ingeniería geotécnica. (4ta Ed.). México: Cengage Learning
- Bowles, J. E. (1982). Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Bogotá, Colombia: McGRAW-Hill Book.
- Juárez, B. & Rico, R. (2006). Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. (1ra Ed.). México, D.F.: Limusa.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. (2004). Mecánica de suelos. México, D.F.: Limusa.
- Leoni A. L. (2015). Propiedades físicas de los suelos. Recuperado de <http://ingenieroleoni.com/wp-content/uploads/2015/09/Capitulo-1-Propiedades-Físicas-de-los-suelos.pdf>
- Puga, P. E. (2012). Estudio experimental del coeficiente de permeabilidad en arenas. Concepción, Chile.
- Rodríguez N. J. (2008). Trabajo práctico de laboratorio-Permeabilidad. Chaco, Argentina.
- Soto L. K. Texto guía para el Laboratorio de la asignatura CIV-341 Mecánica de suelos I y laboratorio. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia.
- Taylor W. D. (1961). Principios fundamentales de Mecánica de suelos. New York, EEUU: John Wiley & Sons
- Sánchez, F. J. (2017). Hidrología superficial y subterránea. Salamanca, España: Createspace Independent.
- Universidad autónoma de Guerrero. Facultad de ingeniería. Manual de laboratorio de mecánica de suelos I. Chilpancingo, México.
- Whitlow R. (1994). Fundamentos de mecánica de suelos. (2da Ed.). México: Compañía editorial continental.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

3

ARTÍCULO

COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DETERMINADO EN LABORATORIO (CARGA VARIABLE) Y EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

COMPARISON OF THE PERMEABILITY COEFFICIENT DETERMINED IN THE LABORATORY (VARIABLE LOAD) AND THE ONE-DIMENSIONAL CONSOLIDATION TEST

Autores:

Laura Karina Soto Salgado ¹

Edwin Rodrigo Martínez Cruz²

¹Ingeniera Civil, M.Sc., Estudiante de Doctorado en Ciencias

¹Docente de Ingeniería Civil de la UAJMS

²Ingeniero Civil de la UAJMS

Tarija - Bolivia

RESUMEN

Se presentan artículo los resultados experimentales de los coeficientes de permeabilidad a través del permeámetro de carga variable y el ensayo de consolidación unidimensional.

Las muestras analizadas fueron extraídas de los barrios de la ciudad de Tarija: Los Chapacos, Torrecillas, El Constructor, San Blas y San Jorge II.

Los resultados muestran, la comparación de la permeabilidad obtenida por el método de carga variable y el ensayo consolidación unidimensional.

Se concluye que para los suelos CH y MH, considerados altamente plásticos se tiene una diferencia aproximada entre permeabilidades del 20 %, entre los métodos en análisis, de la misma manera para los suelos, ML-CL, ML, CL, denominados suelos finos de baja plasticidad, se tiene una diferencia aproximada del 90 % entre permeabilidades.

ABSTRACT

The article presents the experimental results of the permeability coefficients through the variable load permeameter and the one-dimensional consolidation test.

The samples analyzed were taken from the neighborhoods: Los Chapacos, Torrecillas, El Constructor, San Blas and San Jorge II, all belonging to the city of Tarija.

The results show, the comparison of the permeability obtained by the variable load method and the one-dimensional consolidation test.

It is concluded that for CH and MH, considered highly plastic, there is an approximate difference between permeabilities of 20%, between the methods under analysis, in the same way for soils, ML-CL, ML, CL, called fine soils of low plasticity, there is a difference of approximately 90% between permeabilities.

Palabras Claves: Consolidación, permeabilidad, Carga variable.

Keywords: Consolidation, permeability, variable load.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un material no consolidado formado por la desintegración de la roca y la acumulación de materiales a lo largo de los siglos. Existen diferentes tipos de suelos donde la permeabilidad del suelo, es la propiedades que permite que el agua pase a través de los vacíos de interconexión (Gupta et al. 2016), el parámetro que controla la permeabilidad de los suelos es el tamaño de grano (Nagaraj, Pandian, y Narashimha Raju 1993), al mismo tiempo la conductividad hidráulica de un suelo depende también de la conectividad de los poros dentro del material (Lambe, T y Whitman. 1991), de su tortuosidad, las proporciones de huecos y la densidad relativa. Sin embargo, la permeabilidad del suelo también depende de varios factores adicionales, como la temperatura, la presión atmosférica y la absorción (Warrick 2003).

Se determinaron los valores del coeficiente de permeabilidad, K, por medio del edómetro y se han comparado con los resultados obtenidos con el método de carga variable, los ensayos se realizaron en el laboratorio de la UAJMS DEL departamento de Tarija, provincia Cercado, donde predomina los suelos arcillosos.

Para definir la fiabilidad de la comparación entre los métodos en estudio al determinar el coeficiente de permeabilidad, se debe considerar que en toda la bibliografía de la mecánica de suelos muestra valores de los coeficientes de permeabilidad dando rangos

amplios de clasificación general del suelo, siendo los suelos arcillas por ejemplo: MH, ML, CL, CH, donde los valores del coeficiente de permeabilidad varían desde 1×10^{-5} hasta 1×10^{-11} cm/s (Anón, 2006), razón por la cual se pretende determinar rangos más discretos para cada valor del coeficiente de permeabilidad correspondiente a cada tipo de arcilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

En términos científicos generales, se ha usado el método empírico (experimental), como también el método o teórico, típicos en este tipo de investigaciones.

Con relación a la fase experimental, es pertinente destacar los siguientes aspectos:

- El ensayo de permeabilidad se desarrolla en laboratorio con cinco muestras inalteradas de suelos arcillosos; para las pruebas de se obtuvieron suelos inalterados extraídos de diferentes zonas del departamento de Tarija (5 barrios mencionados en el resumen), provincia Cercado.
- Se realizó la caracterización de las muestras, donde se definió ensayar cinco tipos de suelos finos, que se clasifican en: CH, CL, MH, ML, ML-CL.
- Se realizaron los ensayos de consolidación por el método Taylor para obtener la consolidación primaria; paralelamente se saturaron las muestras y se desarrolló el ensayo de permeabilidad utilizando el método de carga variable.

CUADRO I

COORDENADAS ZONAS DE ESTUDIO

Barrio	Coordenadas		Altitud
	Latitud "S"	Longitud "O"	m.s.n.m
Los Chapacos	21°29'57,97"S	64°44'14,03"O	1938
Torrecillas	21°33'23,76"S	64°40'14,80"O	1861
Constructor	21°31'8,44"S	64°42'55,28"O	1902
San Blas	21°35'26,60"S	64°42'21,57"O	1862
San Jorge II	21°33'27,89"S	64°41'08,86"O	1866

Para determinar la caracterización y la permeabilidad de las muestras de suelos arcillosos, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Identificación de la zona de estudio;
- Extracción, tallado, transporte y conservación de las muestras;
- Ensayos de caracterización: humedad, granulometría por tamizado, granulometría por sedimentación (hidrómetro), límites de consistencia (Atterberg), peso específico y clasificación de suelos;
- Determinación del coeficiente de permeabilidad: permeámetro de carga variable y consolidación unidimensional.

RESULTADOS

En el cuadro 2, que sigue, se presentan los resultados (promedio) correspondientes a los ensayos de laboratorio, tanto de caracterización (clasificación) como los valores del coeficiente de permeabilidad (K).

CUADRO 2
RESUMEN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PROMEDIO PARA CADA MÉTODO
(POR TIPO DE SUELO)

Barrio	Clasificación (SUCS)	K (cm/s) Carga Variable	K (cm/s) Consolidación	Diferencia
Los Chapacos	CH	1,311E-07	8,131E-08	4,979E-08
Torrecillas	ML-CL	2,579E-06	2,244E-07	2,355E-06
El Constructor	CL	1,359E-06	8,118E-08	1,278E-06
San Blas	ML	1,837E-05	1,788E-07	1,819E-05
San Jorge II	MH	6,472E-08	8,2000E-08	1,728E-08

Habiendo efectuado la comparación del coeficiente de permeabilidad obtenido por el método de carga variable y el ensayo edométrico, simulando las mismas condiciones, para los suelos los cinco tipos de suelos en estudio, se pudo constatar estadísticamente que existe una diferencia significativa entre los valores del coeficiente de permeabilidad, considerando las pruebas estadísticas t de Student y Mann Whitney.

En ese sentido, se rechaza la hipótesis de obtener valores confiables de permeabilidad a través del edómetro, a partir de la comparación de los coeficientes de permeabilidad obtenidos por los ensayos en estudio.

Analizando los resultados, se puede evidenciar que los valores de la permeabilidad obtenidos por el ensayo

de carga variable son mayores en comparación con los obtenidos por el ensayo edométrico aun perteneciendo al mismo tipo de suelo. También, es importante resaltar que para los CH y MH, considerados altamente plásticos se tiene una diferencia aproximada entre permeabilidades del 20 %, del mismo modo para los suelos, ML-CL, ML, CL, denominados suelos finos de baja plasticidad, se tiene una diferencia aproximando del 90 %.

FIGURA 1

RESUMEN COMPARATIVO DE K PARA SUELOS CH Y MH

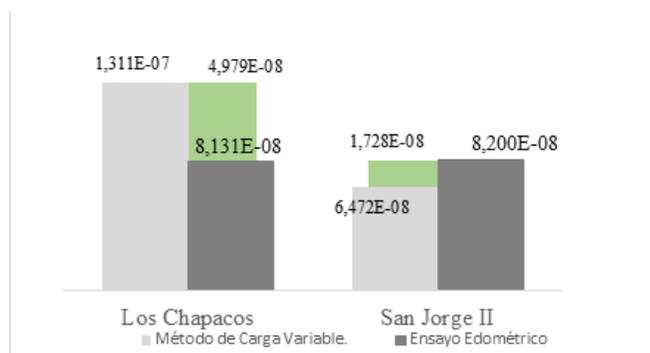
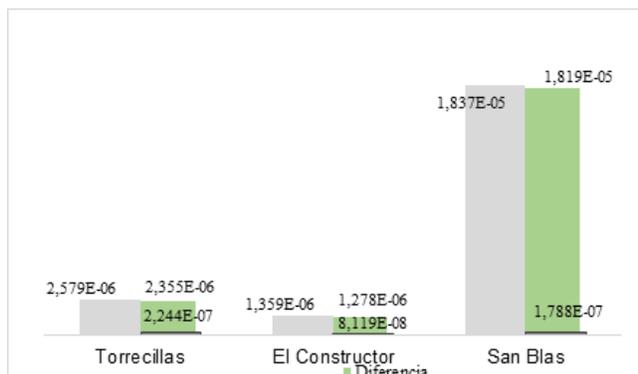


FIGURA 2

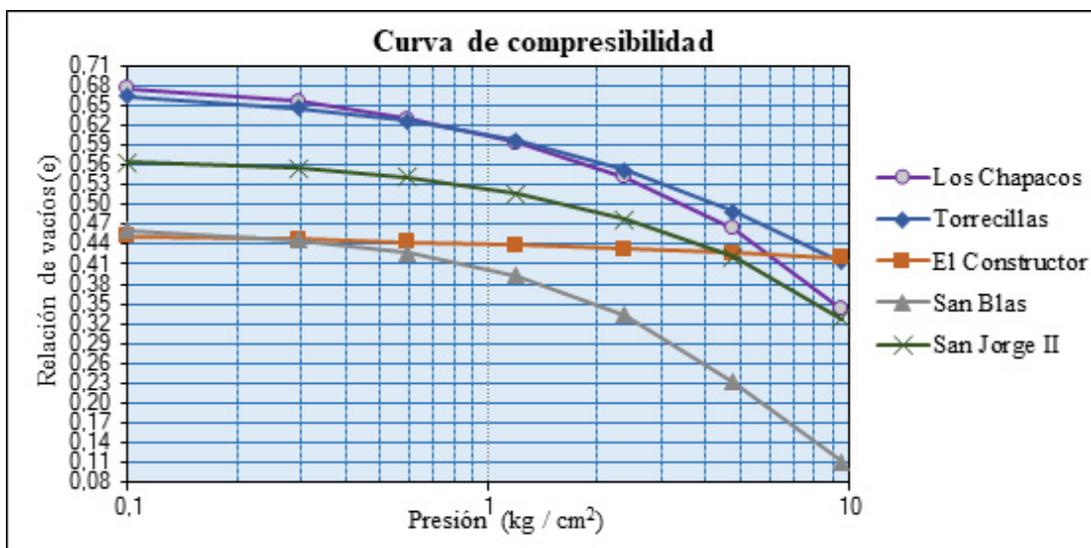
RESUMEN COMPARATIVO DE K SUELOS CL, ML y ML-CL



El ensayo edométrico, se caracteriza principalmente por reducir el aire atrapado en los poros o expulsar el agua contenida en los espacios vacíos de un suelo saturado por efecto de presión, en ese sentido se muestra, en la Figura 3, la variación del índice de poros de las muestras en estudio, con respecto a las cargas que se aplicaron a cada una de las muestras durante el ensayo.

FIGURA 3

VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE POROS RESPECTO A LA PRESIÓN APLICADA

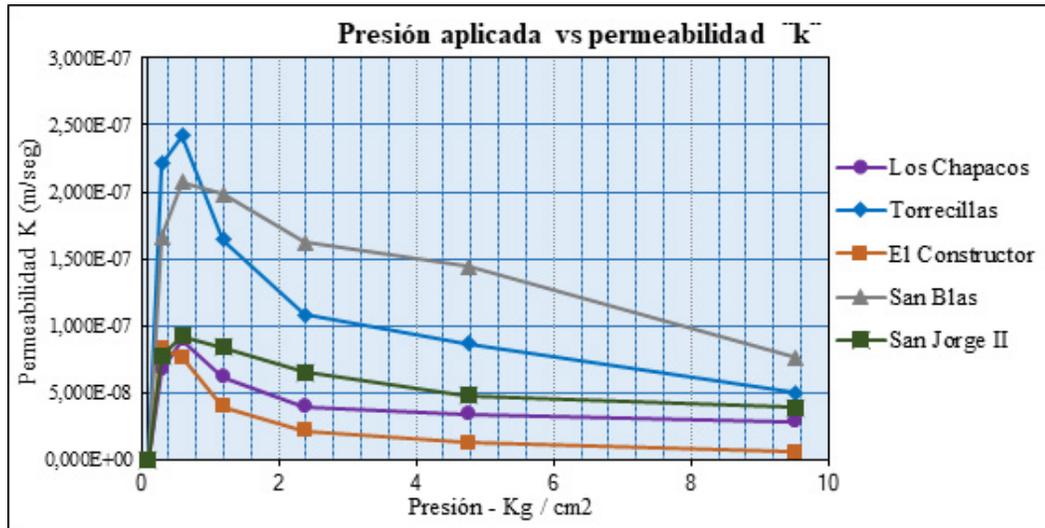


Considerando la Figura 3, se puede establecer que, a mayor presión menor índice de poros, y por ende menor permeabilidad, esto sucede principalmente porque al aplicar una carga al suelo existe una variación en su volumen, ya que con la presión que se aplica se logra reducir el aire atrapado en los poros o expulsar el agua contenida en éstos.

De forma similar en la Figura 4, se presenta la variación del coeficiente de permeabilidad con respecto a la presión aplicada a cada una de las muestras.

FIGURA 4

VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD RESPECTO A LA PRESIÓN



CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos, tanto en la fase experimental, como en la etapa teórica o racional, se formulan las siguientes conclusiones:

- Se determinó cinco tipos de suelos finos, CH, MH, CL, ML, CL-ML, caracterizados básicamente por ser suelos finos inorgánicos de media y alta plasticidad, con ellos se garantiza la aplicabilidad de la teoría de consolidación.
- Se determinó el coeficiente de permeabilidad por el método de carga variable y el ensayo edométrico, este último por el método de Taylor.
- Se efectuó, la comparación de la permeabilidad obtenida por el método de carga variable y el ensayo edométrico, donde se pudo evidenciar que no se garantiza la similitud de los resultados de los dos ensayos analizados.
- Considerando los ensayos efectuados experimentalmente, se puede establecer que la permeabilidad de los suelos varía de acuerdo a la naturaleza del mismo, su granulometría, su relación de vacíos, humedad volumétrica y temperatura ambiente.

- Los valores de la permeabilidad obtenidos por el ensayo de carga variable para los suelos ML-CL, ML, CL, son mayores en comparación con los obtenidos por el ensayo edométrico aun perteneciendo al mismo tipo de suelo, así mismo es importante resaltar que para los CH y MH, considerados altamente plásticos se tiene una diferencia aproximada entre permeabilidades del 20%; del mismo modo para los suelos, ML-CL, ML, CL, denominados suelos finos de baja plasticidad, se tiene una diferencia aproximada del 90 % entre permeabilidades.

BIBLIOGRAFÍA

- Administradora Bolivia de Carreteras ABC, S. F. Manual de Ensayos de Suelos Materiales. Vol. Volumen 4.
- Benítez Reynoso, A. (2021). Propiedades Geotécnicas y Mecánicas de los Suelos: Correlaciones y Modelos Matemáticos (con énfasis en los suelos bolivianos). Imprenta Integral S.R.L., Tarija.

- Benítez Reynoso, A. (2019). Modelos Matemáticos Generales para la Predicción del CBR (California Bearing Ratio) en los Suelos Bolivianos. Ventana Científica Volumen 9 N° 15, pp. 9-24, Tarija.
- Benítez Reynoso, A. (2010). Modelos Matemáticos Multivariados en la Estimación de Algunas Propiedades Mecánicas de los Suelos y sus Implicaciones en la Ingeniería Vial. XX Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional de Mendoza.
- Bowles, J. E., (1990). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Bogotá:
- Braja M. Das (2011). Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica, Editorial Thomson Learning, México.
- Braja M. Das (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. 4ta ed. Stamford, CT: Cengage Learning.
- Carrasco, C. P y Mario Z. Z. (2007). “Probabilidad y Estadística”. Cochabamba – Bolivia.
- Crespo, V. C., (1979). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Primera Edición. Limusa S.A.
- Darcy, H. P. G., (1856). Les Fontaines publiques de la ville de Dijon. Exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d’eau, etc. V. Dalamont.
- Duque, E. G. y Carlos, E. E. P., S. F. Mecánica de los Suelos. Primera edición. Manizales Colombia.
- Dulcey, L., Fausto M. G. y Lenin B. C., (2018). «Hydraulic conductivity in layered saturated soils assessed through a novel physical model». DYNA 85(205):119-24.
- Haigh, S. k., Eadington, J. y Madabhushi. S. P. G., (2012). «Permeability and stiffness of sands at very low effective stresses». Géotechnique 62(1):69-75.
- Juárez Badillo y Rico Rodríguez, (1974), Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Editorial Limusa. México.
- Lambe, T. W. y Robert V. W., (1991). Mecánica de suelos. Limusa.
- Medrano C., Rodolfo C., (2008). Mecánica de Suelos Aplicada. Tehuacán, Puebla de 14 de enero de 2008.
- Nagaraj, T.S., Pandian, N. S. y Narashimha, Raju, P.S. R., (1993). «Stress state-permeability relationships for fine-grained soils». Géotechnique 43(2):333-36.
- Rodríguez, Á. M., S. F. Manual de Mecánica del Suelo y Cimentaciones.
- Sowers, G. B., y George, F. S., (1972). Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa-Wiley.
- Terzaghi, K. y Realph B. P., S. F. «Mecánica de Suelos en la Ingeniería práctica». (<https://www.scribd.com/doc/268316318/Mecanica-de-suelos-en-la-ingenieria-practica-Karl-Terzaghi-y-Realph-B-Peck-FREELIBROS-ORG-pdf>).
- Warrick, A. W., (2003). Soil Water Dynamics. Oxford University Press.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

4

ARTÍCULO

OBTENCIÓN DE HARINA DE OCA VARIEDAD AMARILLA

OBTAINING YELLOW VARIETY GOOSE FLOUR

Autores:

Nilda Roxana Valdez Guerrero ¹

Erick Ramírez Ruiz²

¹Ingeniera de Alimentos de la UAJMS

²Docente guía de la Carrera de Ing. de Alimentos Facultad de Ciencias
y Tecnología de la UAJMS

Correspondencia de los autores: valdeznildag@gmail.com
ramirezruiz@yahoo.com.ar

Tarija - Bolivia

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo obtener harina de oca variedad amarilla por el método de secado con aire caliente a nivel experimental, que fue desarrollado en el Laboratorio Taller de Alimentos y Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos. Para tal efecto, se utilizó oca variedad amarilla "Oxalis tuberosa". El enfoque aplicado fue cuantitativo, ya que realizó la recolección de datos de manera cuantitativa en laboratorio.

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la oca (amarilla) fueron: ceniza total 1,03 %; fibra 0,82%; grasa 0,34%; hidratos de carbono 19,59%; humedad 76,61 %; proteína total 1,61% y valor energético 87,86 Kcal/100 g, Coliformes fecales 1,0x10¹ UFC/g; Coliformes totales 1,0x10¹ UFC/g y Escherichia coli 1,0x10¹ UFC/g.

Para elegir el pretratamiento de las muestras, se realizó cinco grupos de pruebas preliminares con diferentes soluciones de pretratamiento con concentraciones entre (0,1-1,0) %, y fueron evaluados en escala hedónica de cinco puntos; mediante veinte jueces no entrenadas, que calificaron los atributos color y apariencia, donde fue la muestra RO4 de mayor aceptación.

El diseño factorial de 2³, para muestras con pretratamiento (RO4) y sin pretratamiento (STO4) fueron las variables temperatura de secado (45-55) °C, espesor de corte (1,0-3,0) cm y velocidad de aire (4-6) m/s que fueron controladas durante el proceso de secado; en función de la variable respuesta contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco).

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de oca fueron: humedad 8,39 %; ceniza 2,24%; fibra 1,49; grasa 0,74%; hidratos de carbono 83,62%; proteína total 3,52%, valor energético 355,22 kcal/100 g, Escherichia coli 1,0x10¹ UFC/g; mohos y levaduras 1,5x10² UFC/g. Siendo mejor el método de pretratamiento térmico a condiciones de secado 55°C, espesor 1,0mm y velocidad de aire de 3,0m/s para tener un contenido final de humedad de (0,011kgagua/kg sólido seco).

ABSTRACT

The objective of this research work is to obtain yellow variety oca flour by the hot air drying method at an experimental level, which was developed in the Food Workshop Laboratory and Academic Laboratory of the Food Engineering Career. For this purpose, the oca yellow variety "Oxalis tuberosa" was used. The applied approach was quantitative, since it carried out the data collection in a quantitative way in the laboratory.

The physicochemical and microbiological analyzes of the oca (yellow) were: total ash 1.03 %; fiber 0.82%; fat 0.34%; carbohydrates 19.59%; humidity 76.61%; total protein 1.61% and energy value 87.86 Kcal/100 g, Fecal coliforms 1.0x10¹ CFU/g; Total coliforms 1.0x10¹ CFU/g and Escherichia coli 1.0x10¹ CFU/g.

To choose the pretreatment of the samples, five groups of preliminary tests were carried out with different pretreatment solutions with concentrations between (0.1-1.0) %, and they were evaluated on a five-point hedonic scale; through twenty untrained judges, who qualified the color and appearance attributes, where RO4 was the most widely accepted sample.

The factorial design of 2³, for samples with pretreatment (RO4) and without pretreatment (STO4) were the variables drying temperature (45-55) °C, slice thickness (1.0-3.0) cm and air speed. (4-6) m/s that were controlled during the drying process; depending on the response variable moisture content on a dry basis (g water/g dry solid).

The physicochemical and microbiological analyzes of the oca flour were: moisture 8.39%; ash 2.24%; fiber 1.49; fat 0.74%; carbohydrates 83.62%; total protein 3.52%, energy value 355.22 kcal/100 g, Escherichia coli 1.0x10¹ CFU/g; molds and yeasts 1.5x10² CFU/g. The thermal pretreatment method is better at drying conditions of 55°C, thickness 1.0mm and air velocity of 3.0m/s to have a final moisture content of (0.011kgwater/kg dry solid).

Palabras Claves: Oca variedad amarilla, método de secado con aire caliente, trabajo experimental, diseño factorial, cinética de secado de oca, harina de oca.

Keywords: Yellow variety oca, hot air drying method, experimental work, factorial design, oca drying kinetics, goose flour.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo fue realizado con el fin de aprovechar el este tubérculo (oca) que existe la disponibilidad en la zona alta del departamento de Tarija, especialmente en Iscayachi y que no tiene un valor económico para el sector productor, que debe darse la oportunidad que sea un proyecto de estudio para que sea introducida como suplemento en los desayunos escolares como ser en pan, galletas etc. Así mismo, un suplemento nutricional para el consumo de personas mayores para el mejoramiento de huesos y energía. Según (Mohammed et al., 2016), la necesidad del cambio en la dieta alimentaria hace la urgente necesidad del consumo de alimentos andinos que nuestros antepasados han sobrevivido por milenios en base al consumo de alimentos más saludables. Al momento existen varios trabajos de investigación sobre el secado de alimentos para obtener mezclas de harinas fortificadas es de mucha importancia para mejorar los problemas de salud, especialmente en consumir alimentos ricos en nutrientes (Arribas et al., 2017). En los países de Bolivia, Perú y Ecuador, se realiza la producción de oca y la cual viene a ser una aportación muy significativa en la agricultura; especialmente de la zona de Los Andes donde mucho de los productores, se basan en este tubérculo para luchar contra la pobreza y generar recursos. (Ortiz, 2018)

Según (Calle, 2022), entre los tubérculos fuera de la gran variedad de papas, se encuentran, entre otras, la oca, la papalisa, la ajipa, la racacha y la maca. Este tipo de alimentos son importantes para el cambio de la matriz alimentaria de las personas en el consumo de alimentos funcionales y que sirvan de beneficio para la salud. En este sentido, es necesario tener el cuidado en la preservación genética de nuestros recursos naturales de origen andino, que hasta el día muchas personas desconocen su aplicabilidad en para nuestros organismos.

La producción de la oca en Bolivia, se encuentra distribuida en los diferentes departamentos como ser: La Paz, Cochabamba, Potosí, Oruro, Chuquisaca y Tarija. (Ugarte, 2004). En Tarija existe una gran cantidad de tubérculos sin ser procesados, entre ellas la oca, la cual presenta un sabor poco apetecible para las

personas de la provincia de Cercado. Este tubérculo es cultivado en la localidad de Iscayachi, zona altiplánica de departamento. (Acebey, 2018). Así mismo, el desarrollo tecnológico en busca de nuevos productos y dejando de lado el consumo tradicional de las raíces de tubérculos. Pero a pesar de esto el valor nutricional de estos productos nativos o tradicionales se han realizado varios proyectos de investigación, sobre las propiedades funcionales de los mismos (Vargas y Hernández, 2012). Es por ello que se cuentan con diferentes investigaciones que muestran el comportamiento de las harinas no convencionales estudiadas en la elaboración de productos como panes, galletas, pastas, cupcakes y fideos, donde su comportamiento tiende a varias con forme es el nivel de sustitución de la haría de trigo, encontrando así que la mayoría de autores utilizan rangos de sustitución del 5 % al 35 % en las mezclas, siendo los efectos que mayor variación presentaron dentro de su composición proximal el contenido de humedad y proteína (Llumiquinga, 2022).

Según (Gallegos & Umaña, 2011) “la harina tubérculos es un polvo suave que se obtiene a partir de tubérculos deshidratados y molidos ricos en almidón y en otros componentes como proteína, azúcares, minerales y vitaminas. Cuyo proceso (Vega & Fito, 1995) consiste en eliminar el agua que contiene el alimento, mediante el proceso de evaporación hasta obtener el contenido de agua deseado en base seca.

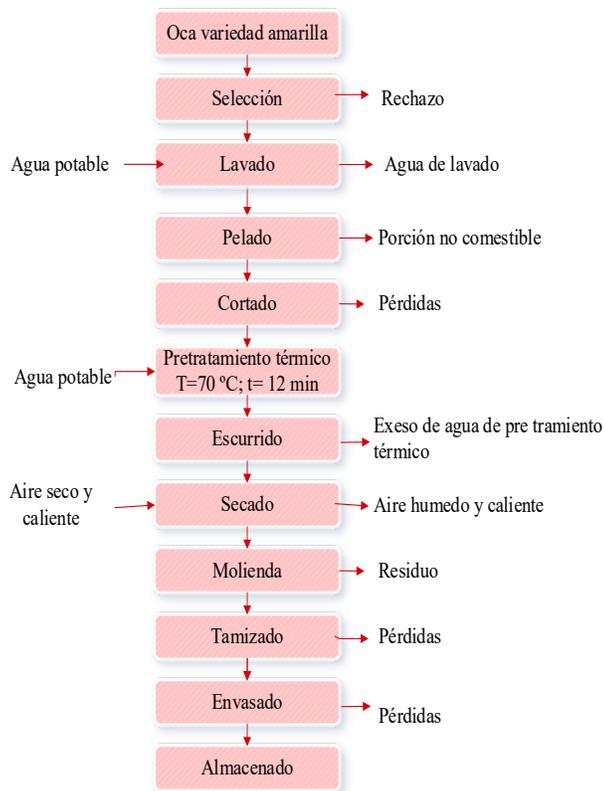
2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Materiales

Se utilizó como materia prima oca variedad amarilla “Oxalis tuberosa”. Los reactivos: ácido cítrico, ácido ascórbico y cloruro de sodio. Equipos de proceso: secador de bandejas, cortadora de tubérculos, molino eléctrico y tamizador vibratorio. Instrumentos de laboratorio: balanza analítica, termo-hidrómetro digital y anemómetro digital.

2.2. Metodología

En la Figura 1, se muestra el diagrama para el proceso obtención de harina de oca variedad amarilla.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1: Diagrama de flujo para el proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla

- **Oca variedad amarilla**

La oca (*Oxalis Tuberosa*) fue adquirida del Mercado Campesino, en estado maduro y precedente de la Zona de Iscayachi.

- **Selección**

El proceso de selección de la oca se realizó de manera selectiva entre (5-7) cm de altura, separando aquellas que se encuentren partidas, golpeadas y podridas.

- **Lavado**

El proceso de lavado de la oca se realizó con 2 litros de agua, con ayuda de un cepillo se retiró la tierra adherida al tubérculo y por último se enjuaga con un litro de agua.

- **Pelado**

El proceso de pelado de la oca se realizó con ayuda de un cuchillo retirando la cascara y los puntos negros de raíz que tiene la oca con el fin de obtener la porción comestible.

- **Cortado**

El proceso de cortado de la oca fue utilizando una cortadora de tubérculos, para cortar las ocas en rodajas con espesor de (1-3) mm con el fin de que tengan un secado homogéneo.

- **Pretratamiento térmico**

El proceso de pretratamiento térmico de las rodajas de oca se realizó a temperatura 70 °C y tiempo de inmersión en agua de escaldado a 12 minutos, con la finalidad retrasar el pardeamiento enzimático de las muestras de oca.

- **Ecurrado**

El proceso de escurrido de las rodajas de oca se realizó en un escurridor, con el fin de eliminar el exceso de agua de pretratamiento para evitar que interfiera en la pérdida de humedad.

- **Secado**

El proceso de secado de las rodajas de oca fue a temperatura entre (45-55) °C, tiempo (3-5) horas. Donde se controló pérdida de peso de la humedad de las rodajas de oca a medida que transcurre el tiempo cada 10 minutos.

- **Enfriado**

En el desecador de vidrio se realizó el proceso de enfriado de las rodajas de oca durante un tiempo entre (10-15) minutos hasta una temperatura ambiente con el fin de evitar que las muestras transpiren durante envasado.

- **Molienda**

El proceso de molienda de la oca fue utilizando un molino analítico eléctrico con el fin de reducir el tamaño de las partículas a 0,50 mm.

- Tamizado

Se realizó el proceso de tamizado a la harina de oca variedad amarilla en tamices N° 35, N° 60 y N° 230 con abertura de malla (0,063) mm con el fin de obtener una harina de oca fina.

- Envasado

La harina de oca fue envasada en bolsas de polipropileno con espesor de 0,05 mm y cierre hermético con la finalidad de evitar que adquiriera humedad relativa del ambiente.

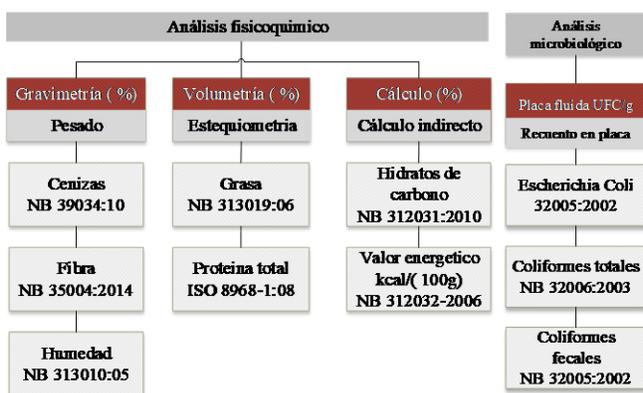
- Almacenamiento

La harina de oca fue almacenada en un lugar fresco, limpio y de baja humedad relativa, dentro de una caja de cartón, con la finalidad de conservar bajo las condiciones adecuadas.

2.3 Metodología para la obtención de resultados

Análisis fisicoquímico y microbiológico de oca variedad amarilla

La Figura 2, se muestran los métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de oca variedad amarilla.



Fuente: CEANID, 2021

Figura 2: Análisis fisicoquímicos y microbiológico de oca variedad amarilla

2.3.1 Análisis sensorial

Se realizó una evaluación sensorial a las muestras preliminares de harina de oca variedad amarilla, mediante 20 jueces no entrenados a escala hedónica de cinco puntos con la finalidad de elegir la muestra con los mejores atributos de apariencia y color.

2.3.2 Diseño factorial de 23 en el proceso de secado de las muestras de rodajas de oca variedad amarilla

El diseño factorial que se aplicó en el presente trabajo de investigación fue de 23 (Ramírez, 2020), el cual fue aplicado en el proceso de secado, donde se tomó en cuenta tres factores (velocidad de flujo de aire, temperatura de secado y espesor de la muestra de oca); utilizando dos niveles de variación para cada factor: nivel inferior (-) y nivel superior (+) donde la variable respuesta es el contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco).

3 RESULTADOS

En base a la propuesta metodológica, se procedió a realizar la caracterización de los resultados a nivel experimental.

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,03
Fibra	%	0,82
Grasa	%	0,34
Hidratos de carbono	%	19,59
Humedad	%	76,61
Proteína total	%	1,61
Valor energético	Kcal/100 g	87,86

Fuente: CEANID, 2021

Tabla 2 Análisis fisicoquímicos de la oca variedad amarilla

En la Tabla 2, se muestran el análisis fisicoquímico que la oca variedad amarilla contiene: ceniza 1,03 %, fibra 0,82%, grasa 0,34%, hidratos de carbono 19,59%, humedad 76,61 %, proteína total 1,61% y valor energético 87,86 Kcal/100 g.

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	UFC/g	1,0x10 ¹
Coliformes totales	UFC/g	1,0x10 ¹
Escherichia coli	UFC/g	1,0x10 ¹

Fuente: CEANID, 2021

Tabla 3 Análisis microbiológico de oca variedad amarilla

En la Tabla 3, se observa el análisis microbiológico que la oca variedad amarilla contiene: coliformes fecales 1,0x10¹ UFC/g, coliformes totales 1,0x10¹ UFC/g y escherichia coli 1,0x10¹ UFC/g sin desarrollo de coliformes totales.

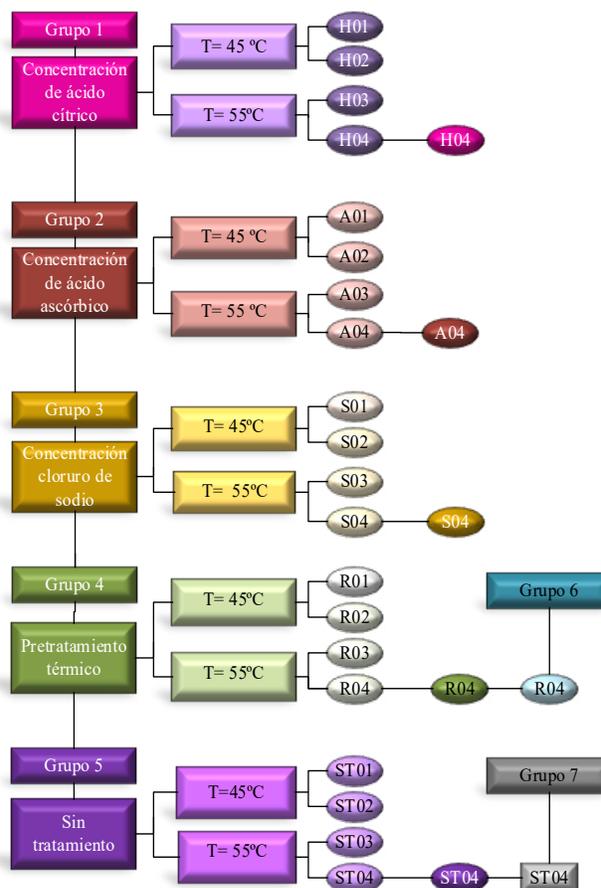
3.1. Caracterización de las variables del proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla

Para la caracterización de las variables del proceso de obtención de harina de oca variedad amarilla (Oxalis Tuberosa), se tomaron en cuenta las pruebas preliminares con el fin de obtener la metodología en el proceso.

3.2. Pruebas preliminares para la obtención de harina de oca variedad amarilla

Las pruebas preliminares fueron clasificadas en cinco grupos (Figura 3), bajo las condiciones de: temperatura de secado de (45-55) °C, espesor de corte de las rodajas (1,0) mm, velocidad de flujo de aire (4,0) m/s; utilizando

diferentes soluciones de ácido cítrico (0,3-0,6) %, ácido ascórbico (0,1-0,2) %, cloruro de sodio (0,2-0,5) % y pretratamiento térmico (70-80) °C con la finalidad de determinar el mejor pretratamiento para las muestras de oca variedad amarilla.



Fuente: Elaboración propia

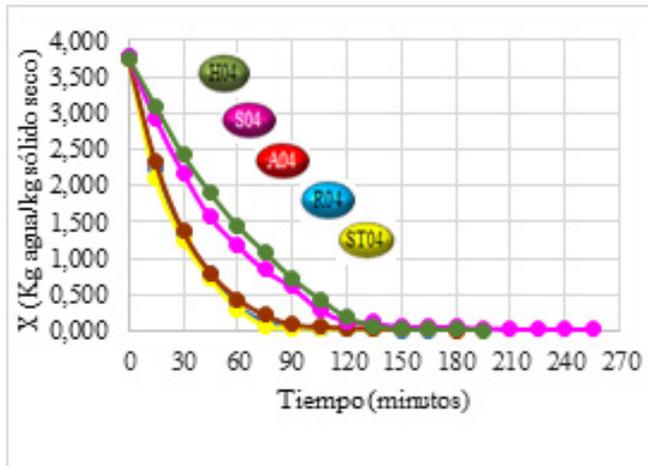
Figura 3: Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento de las rodajas de oca variedad amarilla

Se procedió a evaluar las muestras preliminares del grupo 1 con solución de ácido cítrico 0,6 % (H01); 0,4 % (H02); 0,6 % (H03) y 0,4 % (H04); grupo 2 con solución de ácido ascórbico 0,1 % (A01); 0,2 % (A02); 0,1 % (A03) y 0,2 % (A04); grupo 3 con solución de cloruro de sodio 0,2 % (S01); 0,4 % (S02); 0,2 % (S03) y 0,4 % (S04); grupo 4 pretratamiento térmico 80 °C (R01); 70 °C (R02); 80 °C (R03) y 70 °C (R04) y grupo 5 sin pretratamiento ST01, ST02, ST03 y ST04 donde el tiempo de inmersión de las rodajas de oca fue de 3,6,9 y 12 minutos para las cuatro

muestras respectivamente de cada grupo. Así mismo las muestras elegidas con el mejor atributo en color y apariencia fueron HO4, SO4, AO4, RO4 y ST04.

3.3 Selección de muestra preliminar final

Variación del contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco) en función del tiempo de secado de las muestras de rodajas de oca variedad amarilla.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Contenido de humedad en función del tiempo de secado de los diferentes pretratamientos

Como se puede observar en la Figura 4, el contenido de humedad final en base seca y el tiempo de secado se ve afectado debido al tipo de pretratamiento aplicado bajo las condiciones de: temperatura (55 °C), espesor de corte (1mm) y velocidad de flujo de aire (4 m/s); donde la muestra RO4 presenta el menor contenido de humedad en base seca en el menor tiempo (165 minutos).

3.4 Diseño experimental en el proceso de secado para las muestras de oca variedad amarilla

El diseño experimental para la obtención de harina de oca amarilla, se realizó en base a los niveles de variación de cada uno de los factores: factor (A) temperatura de secado entre (45-55) °C, factor (B) espesor de corte (1,0-3,0) mm y factor (C) velocidad de flujo de aire (4,0-6,0) m/s para el diseño factorial 23 y donde la variable

respuesta es el contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco). Por lo tanto, el diseño fue aplicado a muestras sin pretratamiento y con pretratamiento con el fin de observar si existe diferencia entre el tiempo de secado y el contenido de humedad.

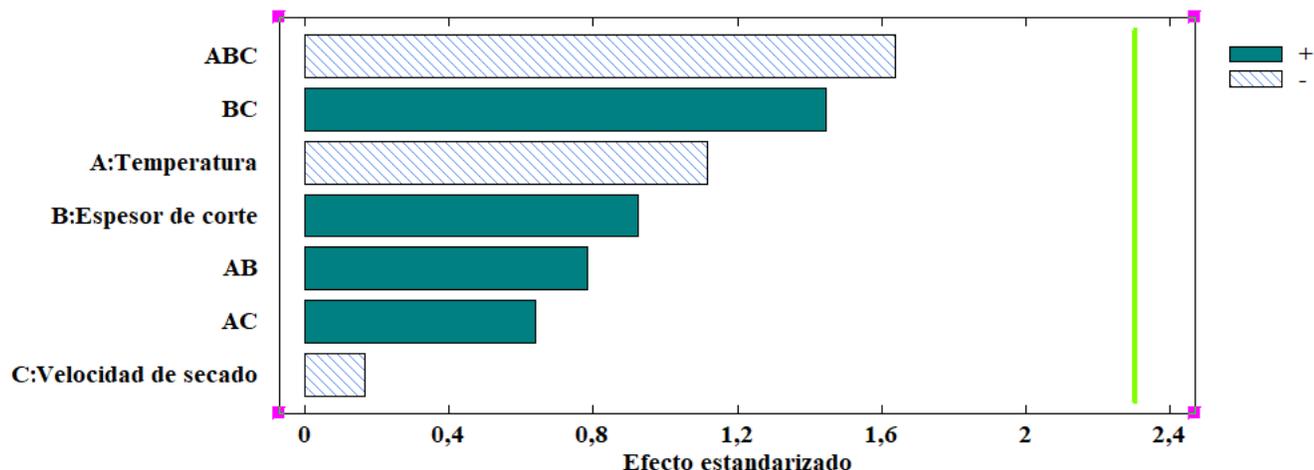
Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fcal	Valor-P
A	0,000138	1	0,000138	1,24	0,2970
B	0,000095	1	0,000095	0,86	0,3817
C	0,000003	1	0,000003	0,03	0,8722
AB	0,000068	1	0,000068	0,61	0,4560
AC	0,000046	1	0,000046	0,41	0,5395
BC	0,000232	1	0,000232	2,10	0,1857
ABC	0,000298	1	0,000298	2,68	0,1401
Error	0,000887	8	0,000111		
Total	0,001767	15			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Análisis de varianza en la etapa de secado de las muestras de oca amarilla sin pretratamiento

En la tabla 4, se observa que los factores: temperatura de secado (A), espesor de corte (B), velocidad de flujo de aire (C) y las interacciones AB, AC, BC y ABC no son estadísticamente significativos; ya que el valor-p es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Figura 5, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca y se muestra la línea de referencia de 2,306 para indicar cuales efectos son estadísticamente significativos a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Pareto estandarizado del diseño factorial sin pretratamiento

En la Figura 5, se observan que los factores: temperatura-espesor de corte-velocidad de flujo de aire (ABC), temperatura (A), velocidad de flujo de aire (C), espesor de corte (B) e interacciones AB y C e interacción AC, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Sin pretratamiento.

Para la optimización de la variable respuesta en la etapa de secado, donde los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla fueron temperatura de secado 55 °C, espesor de corte 1 mm y velocidad de flujo de aire 4 m/s.

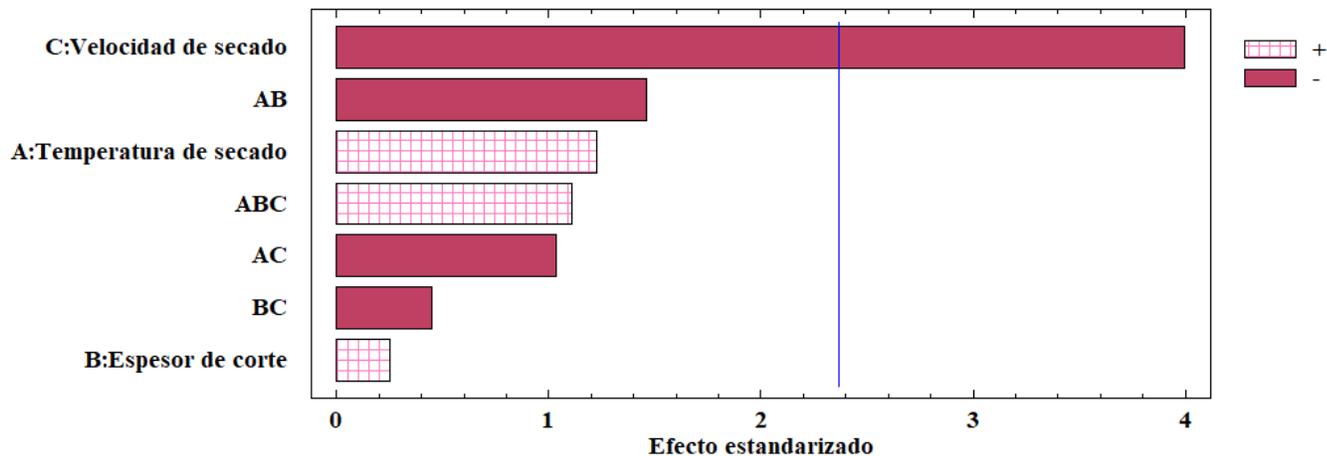
Fuentes de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F-cal	Valor-P
A	0,00025	1	0,00025	1,51	0,2590
B	0,00001	1	0,00001	0,06	0,8072
C	0,00263	1	0,00262	15,97	0,0052
AB	0,00035	1	0,00035	2,14	0,1871
AC	0,00018	1	0,00018	1,07	0,3358
BC	0,00003	1	0,00003	0,20	0,6674
ABC	0,00020	1	0,00020	1,24	0,3031
Error	0,00116	7	0,00016		
Total	0,00480	15			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Análisis de varianza en la etapa de secado de las muestras de oca amarilla con pretratamiento térmico

En la tabla 5, se observa que los factores: temperatura de secado (A), espesor de corte (B) y las interacciones AB, AC, BC y ABC no son estadísticamente significativos ya que el valor-p es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Sin embargo, el factor velocidad de flujo de aire (C) es estadísticamente significativo debido a que el valor-p es menor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la Figura 6, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca y se muestra la línea de referencia de 2,306 para indicar cuales efectos son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

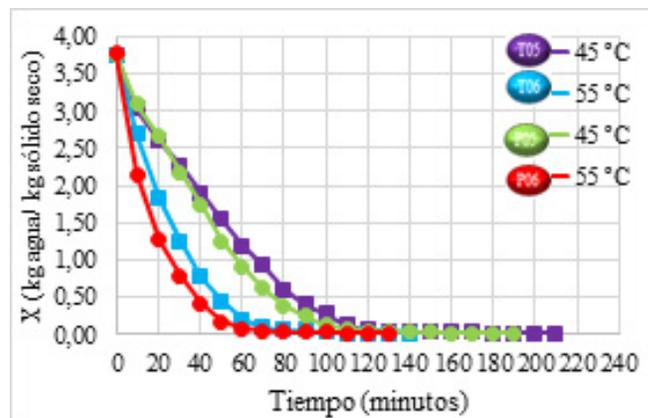
Figura 6: Pareto estandarizado del diseño factorial con pretratamiento

En la Figura 6, se observan que los factores: temperatura-espesor (AB) de corte-velocidad de flujo de aire (BC), temperatura (A), velocidad de flujo de aire (C), corte-velocidad (BC) e interacciones ABC y C la velocidad de secado (C), no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Con pretratamiento.

Para la optimización de la variable respuesta en la etapa de secado, los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de oca variedad amarilla fueron temperatura de secado 45 °C, espesor de corte 1 mm y velocidad de flujo de aire 6 m/s.

3.5 Influencia del contenido de humedad en base seca en el proceso de secado de las muestras de oca variedad amarilla

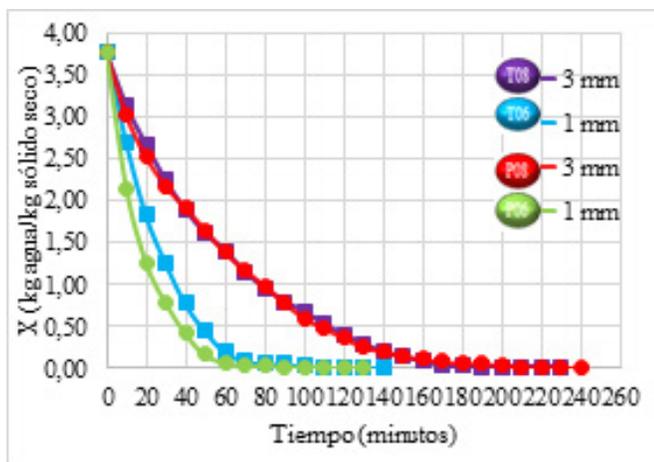
La variación del contenido de humedad se determinó a partir de la pérdida de peso que se registró durante la etapa de secado de las muestras, partiendo de un peso inicial entre (100,06 a 100,18) g de muestras de rodajas de oca variedad amarilla.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Variación del contenido de humedad en función de la temperatura, B1 (1 mm) y C2 (6 m/s)

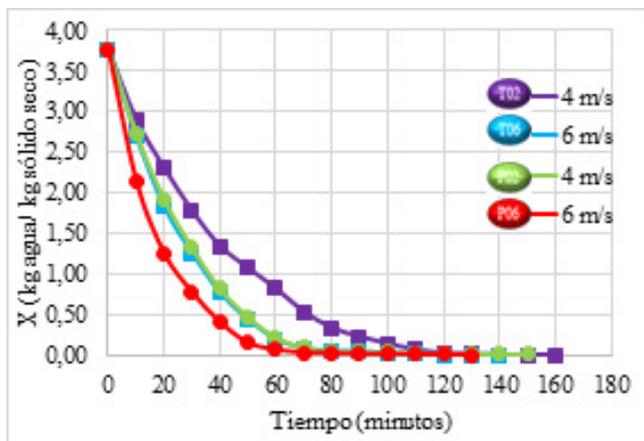
En la Figura 7, se muestra en las curvas de secado que al incrementar la temperatura entre (45 a 55) °C el proceso de secado se ve favorecido con el cambio de humedad y tiempo de secado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Variación del contenido de humedad en función del espesor, A2 (55 °C) y C2 (6 m/s)

En la Figura 8, se muestra en las curvas de secado que al variar el espesor de corte (1 mm) a (3 mm) el tiempo de secado de las muestras aumenta debido al cambio de superficie expuesta a la corriente de aire.



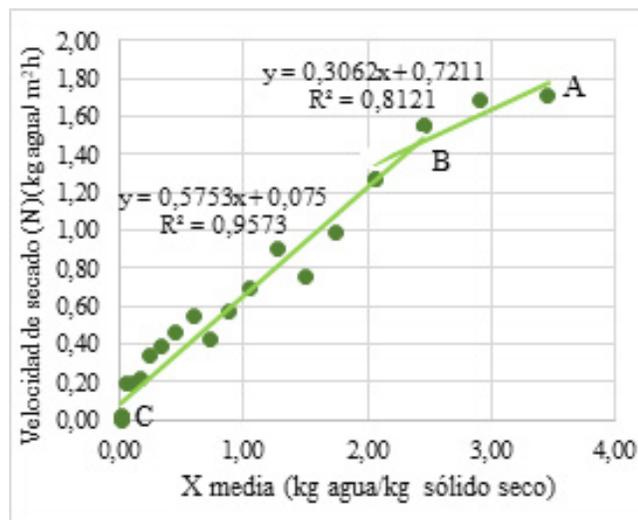
Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Variación del contenido de humedad en función de la velocidad de flujo de aire, A2 (55 °C) y B1 (1mm)

En la Figura 9, se muestra en las curvas de secado que al aumentar la velocidad de flujo de aire (4 m/s) a (6 m/s) el proceso de secado se observa mínimamente favorecido en la disminución del tiempo y contenido de humedad.

3.6 Cinética de secado en la obtención de harina de oca variedad amarilla

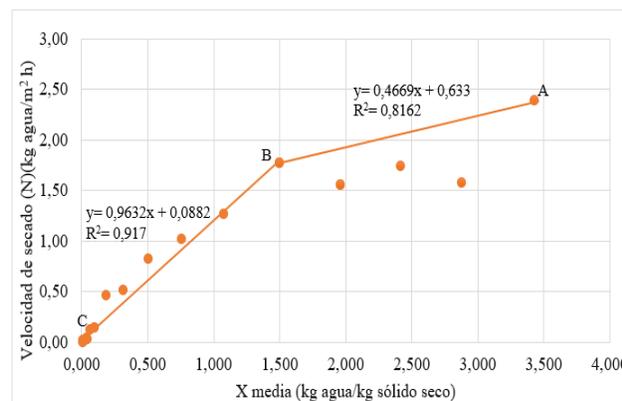
En la Figura 10, se observa la curva de velocidad de secado para muestras de oca variedad amarilla sin pretratamiento en función del contenido de humedad media.



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Cinética en el proceso de secado de muestra sin pretratamiento

En la Figura 11, se observa la curva de velocidad de secado para muestras de oca variedad amarilla con pretratamiento térmico en función del contenido de humedad media.



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Cinética en el proceso de secado de muestra con pretratamiento

3.7 Análisis fisicoquímico de la harina de oca variedad amarilla

En la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de oca, variedad amarilla

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	2,24
Fibra	%	1,49
Grasa	%	0,74
Hidratos de carbono	%	83,62
Humedad	%	8,39
Proteína total	%	3,22
Valor energético	Kcal/100 g	355,22

Fuente: CEANID, 2022

Tabla 8 Análisis fisicoquímicos de la harina de oca variedad amarilla

En la tabla 8, se observa los resultados de los análisis fisicoquímicos que la harina de oca variedad amarilla contiene: ceniza 2,24 %, fibra 1,49 %, grasa 0,74%, hidratos de carbono 83,62 %, humedad 8,39 %, proteína total 3,22 % y valor energético 355,22 Kcal/100 g.

Microorganismos	Unidad	Resultado
Escherichia coli	UFC/g	1,0x10 ¹
Mohos y levaduras	UFC/g	1,5x10 ²

Fuente: CEANID, 2022

Tabla 9 Análisis fisicoquímicos de la harina de oca variedad amarilla

En la tabla 9, se observa los resultados del análisis microbiológico que la harina de oca variedad amarilla presenta: Escherichia coli 1,0x10¹ UFC/g, mohos y levaduras 1,5x10² UFC/g.

4 DISCUSIÓN

En base a los análisis fisicoquímicos de oca variedad amarilla se obtuvo: ceniza total 1,03%; fibra 0,82%; grasa 0,34%; hidratos de carbono 19,59%; humedad 76,61 %; proteína total 1,61% y valor energético 87,86 Kcal/100 g. Así mismo, realizado los análisis micronutrientes de minerales se tiene: calcio 10,7 mg/100g; fósforo 7,7 mg/100g y hierro total 0,84 mg/100g.

En base a los análisis microbiológicos de la oca variedad amarilla presentó: Coliformes fecales 1,0x10¹ UFC/g; Coliformes totales 1,0x10¹ UFC/g y Escherichia coli 1,0x10¹ UFC/g.

Realizado la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de las muestras de oca

variedad amarilla con pretratamiento en solución de ácido cítrico, ácido ascórbico, cloruro de sodio, tratamiento térmico y sin pretratamiento. Así mismo, en función de las medianas de la evaluación sensorial se tomó en cuenta la muestra (RO4) con pretratamiento térmico; ya que presenta el menor tiempo de secado bajo las condiciones de temperatura de secado (55 °C), espesor de corte (1mm) y velocidad de flujo de aire (6,0 m/s), con un contenido de humedad final (0,011 kg agua/kg sólido seco).

Aplicado el diseño factorial 2³ para muestras con pretratamiento y sin pretratamiento, se logró evidenciar estadísticamente que las variables: Temperatura de secado (A), espesor de corte (B), velocidad de flujo de aire (C) y las interacciones temperatura de secado-espesor de corte (A-B), temperatura de secado-velocidad de flujo de aire (A-C), espesor de corte-velocidad de flujo de aire (B-C), temperatura de secado-espesor de corte-velocidad de flujo de aire (A-B-C), no influyen estadísticamente en la variable respuesta. Sin embargo, la variable velocidad de flujo de aire (C) de la muestra con pretratamiento si influye estadísticamente en la variable respuesta.

En base a los análisis fisicoquímico de la harina de oca variedad amarilla se obtuvo: humedad 8,39 %; ceniza 2,24%; fibra 1,49; grasa 0,74%; hidratos de carbono 83,62%; proteína total 3,52% y valor energético 355,22%. Así mismo, realizado los análisis micronutrientes de

minerales tiene calcio 22,90 mg/100g y fósforo 90,60 mg/100g.

De acuerdo a los análisis microbiológicos de la harina de oca variedad amarilla, se obtuvo: *Escherichia coli* $1,0 \times 10^1$ UFC/g; mohos y levaduras $1,5 \times 10^2$ UFC/g. Cuyos valores se encuentran dentro del rango como óptimo para que sea consumido sin riesgo en la salud (Yungán et al., 2020) y el Codex Alimentarius, (2018), que para harina de trigo y tubérculos serían 1×10^3 UFC/g y valor máximo 1×10^4 UFC/g. En este sentido, se cumple con la hipótesis planteada.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Arthey D., (1996). Procesado de frutas. España, Zaragoza: Editorial ACRIBIA. Consultado de: https://www.editorialacribia.com/libro/procesado-de-frutas_53972/
- Arribas, C., Cabellos, B., Sánchez, Cuadrado, C., Guillamón, E. & Pedrosa, M.M (2017). Food Funct 2017 Oct 18;8(10):3654-3663. The impact of extrusion on the nutritional composition, dietary fiber and in vitro digestibility of gluten-free snacks based on rice, pea and carob flour blends. DOI: 10.1039/c7fo00910k
- Balluerka L., y Vergara I., (2002). Diseños de investigación experimental. España, Barcelona: Editorial PEARSON EDUCACIÓN S.A. Consultado de: <https://books.google.co.ve/books?id=3SIIKPFbftQC>.
- CEANID. (2021) Resultados de la composición fisicoquímica y microbiológica de la oca variedad amarilla "Oxalis tuberosa". Obtenido: Centro de Análisis y Desarrollo CEANID.
- CEANID. (2022) Resultados de la composición fisicoquímica y microbiológica de la harina de oca variedad amarilla. Obtenido: Centro de Análisis y Desarrollo CEANID.
- Calle, Huanca, E. (2022). Caracterización morfológica de accesiones de oca (*Oxalis Tuberosa* Mol.) en la estación experimental de Choquenairia. Editorial UMSA-La Paz-Bolivia.
- Gallegos, A., y Umaña, B. (2011). Elaboración de harina de papa. Universidad Nacional de Ingeniería Managua. Nicaragua. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/283644912_Produccion_de_harina_de_papa_para_pure_instantaneo
- Jarro G., y Salas R., (2006). Recuperación de la biodiversidad genética de la oca *Oxalis Tuberosa* para el fomento de desarrollo económico productivo. Consultado de: <https://www.bivica.org/files/oca-biodiversidad.pdf>.
- Llumiquinga, Ch., A., A. (2022). Efecto de la adición de harinas no convencionales para la producción y enriquecimiento de productos de panificación y pastelería. Tesis Pregrado. Universidad Técnica de Ámbato-Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34932/1/AL%20823.pdf>
- Mohammed, S., A., Shivani, P. & Anjali, Sharma (2016). Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. Volume 74, December 2016, Pages 135-144. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.031>
- Ortiz R. C., (2018). La producción de la oca en Bolivia. Consultado de 2021 de: <http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/bitstream/123456789/15813/1/CARLOS%20MIGUEL%20ORTIZ%20ROCA.pdf>
- Ramírez, Ruiz, Erick (2020). Diseño experimental. Editorial Carrera de Ingeniería de Alimentos. Trabajo Final I-INA 091. UAJMS-Tarija. Bolivia.
- Ugarte. M., L., (2004). Variedad de oca en Bolivia. Consultado de: <https://www.proinpa.org/tic/pdf/Papa/Variedades%20de%20papa/Catalogo%20de%20variedades%20locales%20de%20papa%20y%20oca%20de%20la%20zona%20de%20Candelaria.pdf>.

- Varas, A., P. y Hernández, V. Diana (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampi: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Tecnología en marcha*. Vol. 26, N° 1 pp 37-45. file:///C:/Users/T-ALIMENTOS/Downloads/Dialnet-HarinasYAlmidonesDeYucaNameCamoteYNampi-4835676-1.pdf
- Vega, A., & Fito, P. (1995). Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.) cv Lamuyo, *Revista Información Tecnológica*, 16(6), 3-11. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000600002&lang=es
- Yungán G. M., S., Mira, V., J. M., Vinicio, P. P. A. & Erazo, R. F. P. (2020). Elaboración y caracterización de harina de oca proveniente de tres variedades, (zapallo, paucar y mestiza), para uso en productos cárnicos. Vol. 3, N°2.1, p. 108-121. ISSN: 2600-5859. DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1.1223>.

ARTÍCULO CIENTÍFICO

5

ARTÍCULO

EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL DEPARTAMENTO DE POTOSÍ – BOLIVIA (2000 – 2016)

EVALUATION OF LAND CHANGE USE IN THE
DEPARTMENT OF POTOSI – BOLIVIA (2000 – 2016)

Autora:

Subieta Aracena Sandra Marlene ¹

¹Ingeniera agrónoma, M. Sc., Docente (Pregrado y Posgrado)

Correspondencia de la autora: sandra.subieta@uajms.edu.bo

Tarija - Bolivia

RESUMEN

El departamento de Potosí con una extensión de 118.217 Km², un amplio potencial agrícola – productivo, determinado por diferentes ecosistemas producto de la altitud (1.912 ms.n.m. – 5.916 ms.n.m.). Presenta a lo largo de los años cambios en su uso de suelo.

En este sentido se indaga en la información disponible en temática de ordenamiento territorial, analizándose los cambios en categorías de uso y subuso de suelo para el periodo 2000 – 2016, utilizando la categorización de tierras, matrices de Markov y la justificación de cambios en subcategorías.

Se concluye que el cambio de uso del suelo corresponde a un desgaste de las zonas agrícolas, inclusive en aquellas zonas que tienen una correspondencia baja entre el uso actual y su aptitud debido a la baja aplicación de técnicas de manejo adecuadas en la producción, topografía de la región y la baja disponibilidad de agua y nutrientes del suelo que limitan cualquier actividad productiva.

ABSTRACT

The department of Potosí with an extension of 118,217 km², a wide agricultural-productive potential, determined by different ecosystems because of the altitude (1,912 – 5,916 meters below sea level). It presents over the years changes in its land use.

In this sense, the information available about territorial planning was investigated, analyzing the changes in categories of land use and sub-use for the period 2000 – 2016, using the categorization of land, Markov matrices, and the justification of changes in subcategories.

It is concluded that the change in land use corresponds to the wear and tear of agricultural areas, even in those areas that have a low correspondence between the current use and its aptitude due to the low application of adequate management techniques in production, the topography of the region and the low availability of water and soil nutrients that limit any productive activity.

Palabras Claves: Categorías de suelo, Departamento de Potosí, Márkov, Subcategorías de suelo, Uso de suelo.

Keywords: Department of Potosi, Land use, Markov, Soil categories, Sub-soil categories.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años diversos son los paisajes que reflejan el revolucionario patrón de cambios que ha seguido el uso de suelo en Bolivia, la fragmentación de los ecosistemas naturales es producto de la tensión generada entre la necesidad de recursos agrícolas y la industrialización de los asentamientos urbanos (EEA, 2009).

Los cambios en la ocupación del suelo de un territorio no son sino el reflejo de las transformaciones que los asentamientos urbanos experimentan a lo largo del tiempo (Andrade, 2005). Según López, G. (2001), menciona que: “Una forma de monitorear la transformación rural - urbana es mediante el análisis del cambio en el uso del suelo”.

El cambio de uso de suelo es considerado una variable clave para medir con rigor la dimensión ambiental - territorial del modelo de desarrollo, y los indicadores son una guía importante para la toma de decisiones en la mejora del desarrollo sostenible al trasladar conocimiento a unidades manejables de información, que pueden utilizarse como señales de alarma para prevenir daños económicos y socioambientales (Massiris, 2006).

La conservación del suelo es un tema complejo que debe basarse en el conocimiento científico en forma de indicadores, brindando a los encargados de tomar decisiones, aportes relevantes para la comprensión de procesos centrados en el uso de suelos, y la necesidad de promover políticas adecuadas, en este sentido se analizara el caso del departamento de Potosí - Bolivia, que cuenta con una variedad de ecosistema, consecuencia de la orografía y la variación de la altitud sobre el nivel del mar (desde 1.912 ms.n.m. hasta 5.916 ms.n.m), que tienen un amplio potencial agrícola - productivo y que a lo largo de los años ha experimentado cambios importantes en su uso de suelo.

METODOLOGÍA

El objetivo de este trabajo es dar cuenta de los procesos de cambio de uso de suelo en el departamento de Potosí, describiendo su particular dinámica territorial utilizando como fuentes de información histórica y reciente, resultados recogidos en el periodo 2000 - 2016. Para ello se optó por una metodología que combina técnicas de recolección, análisis y procesamiento de datos propios de enfoques metodológicos cualitativos y cuantitativos. Se recurrió a la información disponible de estos instrumentos de planificación para el departamento de Potosí, cada uno con metodologías diferentes, sin embargo, el Plan de Uso del Suelo del año 2000, denominado PLUS - 2000 (MDSP, 2000), se constituye parte inherente del Plan Departamental de Ordenamiento Territorial del año 2016, denominado PDOT - 2016 (MDS, 2016), y permiten datos comparables sobre la evolución de la ocupación del suelo, basados en fotografías de satélite para estos periodos y complementadas con observaciones sobre el terreno, relevamiento de datos, registro fotográfico y entrevistas a informantes clave.

Se analizaran los cambios de uso del suelo, en el departamento de Potosí, a partir de los resultados de la zonificación del proyecto PLUS - 2000 donde establece 5 categorías de uso y 14 categorías de subuso dentro el marco físico - estructural a una escala 1:250.000, permitiendo la contrastación con la información generada por el PDOT - 2016 que realizó un relevamiento con mayor precisión a escala 1:50.000, donde mantiene las 5 categorías, pero existen cambios en las 14 subcategorías, de las cuales se tendrá que encontrar una equivalencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se enumeran los usos agrupados según las categorías, aquellos cambios que tienen una mayor incidencia en la sostenibilidad son los de las tierras de uso agropecuario extensivo y las tierras de protección con uso restringido.

Tabla 1. Procesos de cambio en el uso de suelo en el periodo 2000 – 2016

CATEGORÍA	CLASE	SUPERFICIE km ²		CAMBIO
		(2000)	(2016)	
A. TIERRAS DE USO AGROPECUARIO INTENSIVO				
A.1	Uso Agrícola Intensivo	99	-	↓
A.1.1	Uso Agrícola Intensivo con Uso ganadero extensivo	-	1.458	↑
A.1.4	Uso agrícola intensivo y protección con uso ganadero extensivo limitado	14	-	↓
A.3	Uso Agropecuario intensivo	-	280	↑
B. TIERRAS DE USO AGROPECUARIO EXTENSIVO				
B.1	Uso agrícola Extensivo	369	14.402	↑
B.1.1	Uso agricultura extensiva con rehabilitación de la vegetación y/o suelo	-	18.702	↑
B.2	Uso ganadero extensivo	18.669	8.203	↓
B.2.1	Uso Ganadero Extensivo y uso agropecuario extensivo	1.805	11.321	↑
B.2.2.	Uso Ganadero Extensivo con Rehabilitación de la vegetación y/o suelo	-	16.104	↑
B.3	Uso Agropecuario Extensivo	8.998	1.635	↓
B.3.1	Uso agropecuario extensivo y uso agrícola intensivo	93	-	↓
D. TIERRAS DE USO FORESTAL				
D.3.1	Rehabilitación de la vegetación y/o suelo con uso agropecuario extensivo	384	1.750	↑
E. TIERRAS DE PROTECCIÓN CON USO RESTRINGIDO				
E.1	Protección con uso ganadero extensivo limitado	37.337	-	↓
E.1.1	Protección con uso ganadero extensivo limitado y uso agropecuario extensivo	8.209	-	↓
E.2	Protección con uso agropecuario extensivo limitado	12.189	-	↓
E.2.3	Protección con uso agropecuario extensivo limitado y uso agropecuario extensivo	1.458	-	↓
E.7	Protección	11.284	12.060	↑
E.7.2	Protección con Uso agropecuario intensivo	-	367	↑
E.7.3	Protección con Uso agropecuario extensivo	-	14.626	↑
F. ÁREAS PROTEGIDAS				
F.1	Parque Nacional “Toro Toro”	165	165	=
F.4	Reserva Nacional de Fauna Andina “Eduardo Abaroa”	7.147	7.147	=
SALAR DE UYUNI		9.997	9.997	=
TOTAL		118.217	118.217	

La información del departamento de Potosí disponible en el PLUS - 2000 y PDOT - 2016, examina el comportamiento de las subcategorías de cobertura-

uso, considerando el área y porcentaje de cobertura de las clases generalizadas para cada periodo entre el año 2000 - 2016 (véase Figura 1).

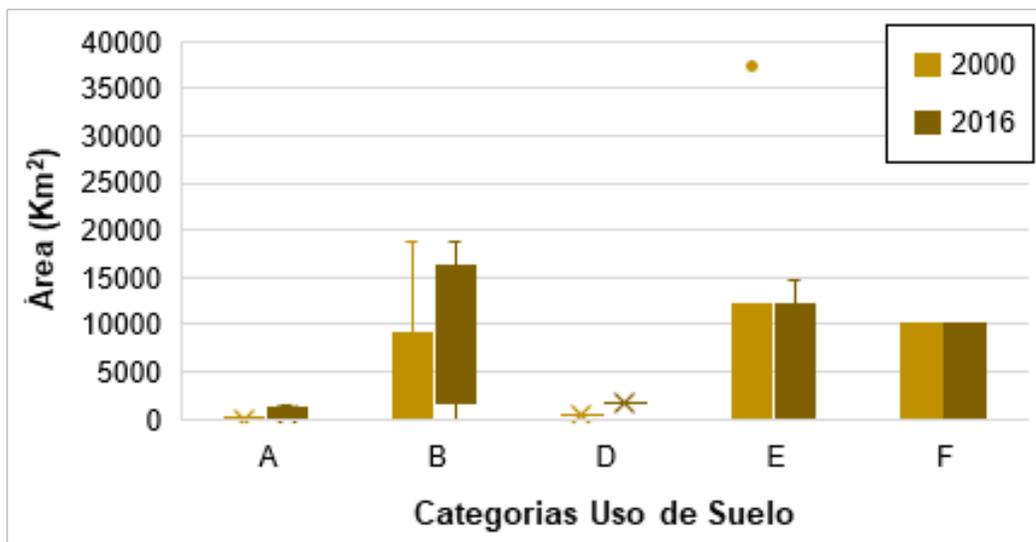


Figura 1. Comparación de las categorías de uso de suelo 2000 - 2016

Para un periodo de 16 años se constata cambios producidos en el uso del suelo, mostrando diferencias significativas, donde se priorizan las categorías de tierras con uso agropecuario extensivo y ligeramente las tierras de uso agropecuario intensivo produciendo un notable decremento en tierras de protección con

uso restringido, lo que es acorde con las características biofísicas y principalmente la extensa superficie territorial del departamento de Potosí, otorgándole un elemento importante como es de la productividad del suelo y su incidencia en la función económica territorial (véase Figura 2 y Figura 3).

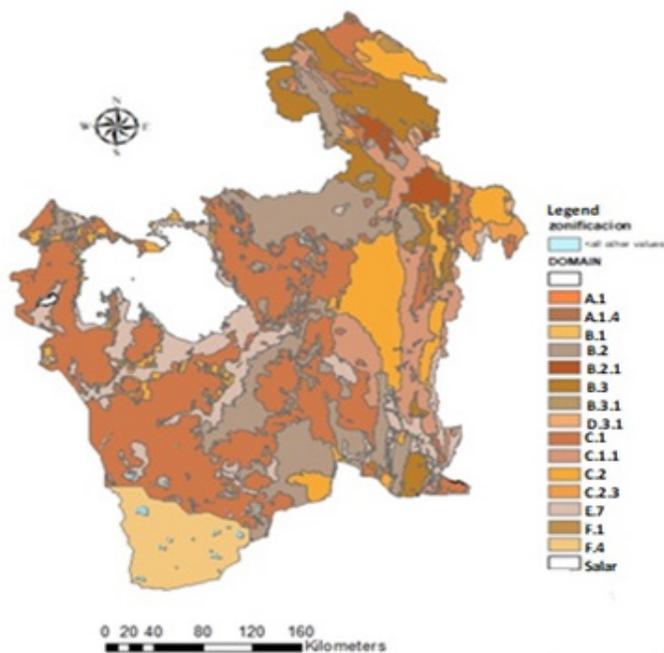


Figura 2. Categorías de Uso de Suelo 2000

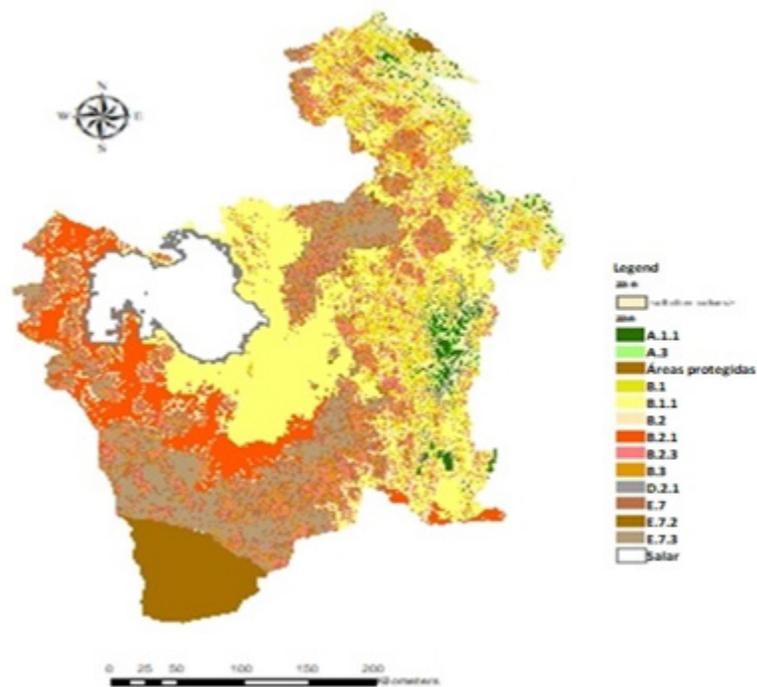


Figura 3. Categorías de Uso de Suelo 2016

Con el fin de conocer la probabilidad de cambio de uso de suelo para el periodo (2000 – 2016), se aplicó el modelo probabilístico de Markov o también denominado matriz de transición de primer orden (proceso estocástico discreto donde la probabilidad que ocurra un evento depende únicamente del evento antecedente).

La elaboración de la matriz muestra la probabilidad de las distribuciones de una determinada categoría a otra en el tiempo de estudio. La forma particular de las matrices Markovianas permite estructurar una tabla con arreglo simétrico que contiene en uno de los ejes las categorías de uso en el año base y en el otro eje, las mismas categorías en un determinado tiempo (López et al., 2001).

De esta forma, cada una de las celdas de la diagonal principal de la matriz representa la superficie (km²) de cada clase de uso del suelo que permaneció en la misma categoría en el período considerado, mientras que el resto de las celdas estiman la superficie de un determinado tipo de uso de suelo que pasó a otra categoría, permitiendo entender la dinámica de cambio en el uso de suelo a nivel en un nivel territorial (véase Tabla 2).

Tabla 2. Matriz de transición 2000 – 2016

Clase	2000													Total	
	A1	A14	B1	B2	B21	B3	B31	D31	E1	E11	E2	E.2.3	E.7		
2016	A11	0,07	0,01	0	0,845	0	0	0	0	0,077	0	0	0	0	1
	A3	0	0	0	0,28	0	0	0	0	0,721	0	0	0	0	1
	B1	0	0	0,026	0	0	0	0	0	0,574	0,1	0,3	0	0	1
	B11	0	0	0	0,045	0	0	0	0	0,955	0	0	0	0	1
	B2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	B21	0	0	0	0	0,159	0,5	0	0	0,234	0	0,107	0	0	1
	B22	0	0	0	0,516	0	0,106	0	0	0,115	0,173	0,091	0	0	1
	B3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	D31	0	0	0	0	0	0	0,053	0,219	0,123	0,605	0	0	0	1
	E.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,064	0	0,936	1
	E.7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0,1	0	0	1
E.7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,2	0,3	0,1	0	1	

En la matriz de transición en la Tabla 2, muestra las subcategorías que tienen mayor probabilidad de permanecer en el tiempo son, en orden descendente B2 (1), B3 (1), E.7 (0,963). Las subcategorías que perdieron su permanencia son A1, A14, B31, E1, E11, E2, E.2.3; mientras que las subcategorías que aparecieron en el transcurso del tiempo son A11, A3, B1, B22, E.7, E.7.2. Las subcategorías que presentaron una mayor distribución de probabilidad es la E1 y E2 debido a que son los que

tenían una mayor cantidad de área en el año 2000, para su distribución en el año 2016.

La matriz de redistribución de superficies en la Tabla 3, muestra el resultado del producto de la matriz de transición entre la matriz de superficies del año 2000. Esta matriz nos muestra los cambios en proporción de superficie que sucedieron entre el periodo 2000 al 2016, que es reflejado en la redistribución de superficies de suelo.

Tabla 3. Matriz de redistribución de superficies del 2000 al 2016

Clase	2000													Total	
	A1	A14	B1	B2	B21	B3	B31	D31	E1	E11	E2	E.2.3	E.7		
2016	A11	102	15	0	1232	0	0	0	0	112	0	0	0	0	1461
	A3	0	0	0	78	0	0	0	0	202	0	0	0	0	280
	B1	0	0	374	0	0	0	0	0	8267	1440	4321	0	0	14402
	B11	0	0	0	842	0	0	0	0	17860	0	0	0	0	18702
	B2	0	0	0	8203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8203
	B21	0	0	0	0	1800	5661	0	0	2649	0	1211	0	0	11321
	B22	0	0	0	8310	0	1707	0	0	1852	2786	1466	0	0	16120
	B3	0	0	0	0	0	1635	0	0	0	0	0	0	0	1635
	D31	0	0	0	0	0	0	93	383	215	1059	0	0	0	1750
	E.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	772	0	11288	12060
	E.7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	330	0	37	0	0	367
E.7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	5850	2925	4388	1463	0	14626	

En la Figura 4 muestra cuantitativamente la redistribución de superficies del año 2000 y como se componen en las superficies del año 2016, en las cuales

se puede concluir que la superficie predominante del 2000 (E1) tuvo una completa redistribución de áreas, dejando como categoría dominante al B11.

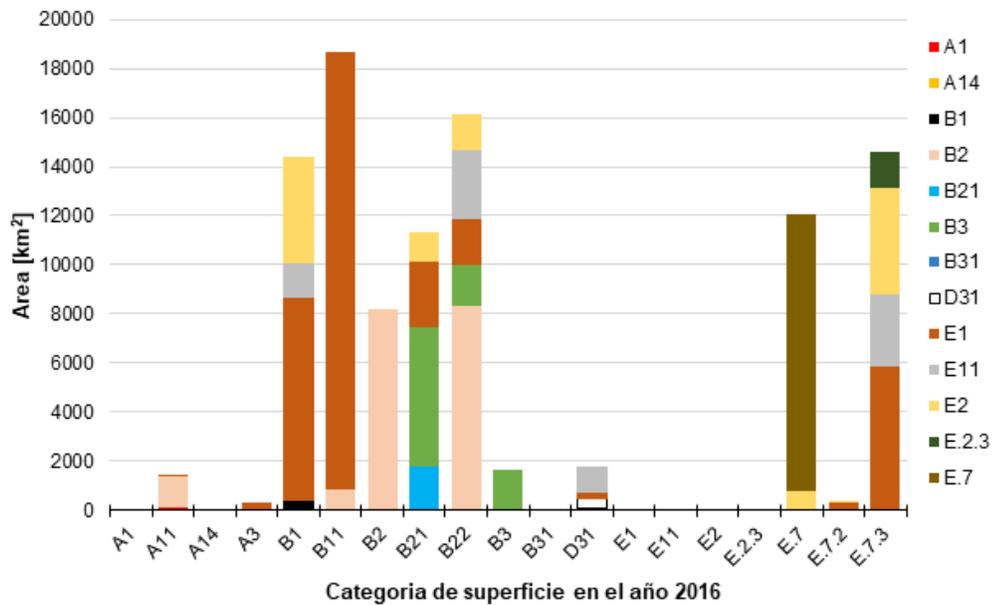


Figura 4. Redistribución del uso de suelo en el año 2016 respecto al año 2000

En la Figura 5 se puede observar la comparación de las superficies (escala logarítmica en eje vertical) entre el año 2000 y 2016. El tipo de suelo “E1” cubre la mayor parte de la zona en estudio en el año 2000; mientras que en el año 2016 el tipo de cobertura predominante

es el “B11”. Existen algunos asentamientos que desaparecieron en la transición del 2000 al 2016 y se observa unas nuevas subcategorías que reemplazan a las desaparecidas.

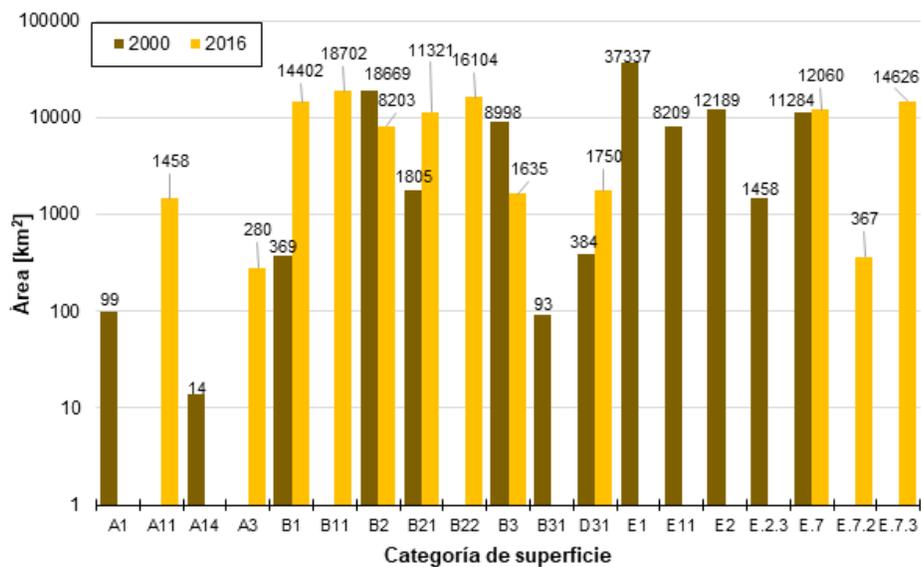


Figura 5. Comparación de las superficies entre el año 2000 y 2016

El comportamiento de las subcategorías de cobertura-uso, en el área y porcentaje de cobertura de las clases generalizadas para cada tiempo tiene como resultado en el proceso un patrón de cambios en el uso de suelo,

dando un aumento, disminución y cambio de uso. Esto responde a la necesidad de recursos y espacio que tiene la sociedad y la capacidad del suelo de soportar y absorber tal necesidad (véase Tabla 4).

Tabla 4. Comportamiento de las subcategorías de cobertura-uso

Categoría	Clase	Superficie Km ²	%	Superficie km ²	%	Patrón de cambio	Justificación
		2000		2016			
A.1	Uso Agrícola Intensivo	99	0,001	0	0,000	cambio de uso	Esta subcategoría se convierte en parte de la subcategoría A11
A.1.1	Uso Agrícola Intensivo con Uso ganadero extensivo	0	0,000	1458	0,014	cambio de uso	Se tomó en cuenta las características biofísicas y área del departamento de Potosí principalmente priorizando su potencial productivo de la ganadería camélida y vacuna
A.1.4	Uso agrícola intensivo y protección con uso ganadero extensivo limitado	14	0,000	0	0,000	cambio de uso	Esta subcategoría se convierte en parte de la subcategoría A11
A3	Uso Agropecuario intensivo	0	0,000	280	0,003	cambio de uso	Se considera las áreas potenciales de ganadería vacuna y ganado menor
B.1	Uso agrícola Extensivo	369	0,004	14.402	0,143	aumenta	Abarca mayor extensión superficial en atención a su potencial y vocación productiva
B.1.1	Uso agricultura extensiva con rehabilitación de la vegetación y/o suelo	0	0,000	18.702	0,185	cambio de uso	Está subcategoría es aplicada a mayor espacio territorial principalmente en la zona central del departamento de Potosí
B2	Uso ganadero extensivo	18.669	0,185	8.203	0,081	disminuye	Está subcategoría es aplicada a menor espacio territorial, ahora forma parte de las categorías B1 y B22.
B2.1	Uso Ganadero Extensivo y uso agropecuario extensivo	1.805	0,018	11.321	0,112	aumenta	Está subcategoría es aplicada a mayor espacio territorial principalmente en zonas con vocación productiva distribuidas en la superficie territorial del departamento de Potosí

Categoría	Clase	Superficie Km ²	%	Superficie km ²	%	Patrón de cambio	Justificación
		2000		2016			
B2.2	Uso Ganadero Extensivo con Rehabilitación de la vegetación y/o suelo	0	0,000	16.104	0,160	cambio de uso	Es aplicada esta subcategoría en el sudoeste potosino, por el comportamiento productivo
B3	Uso Agropecuario Extensivo	8.998	0,089	1.635	0,016	disminuye	Está subcategoría es aplicada a menor espacio territorial, ahora forma parte de las categorías B1 y B22.
D3.1	Rehabilitación de la vegetación y/o suelo con uso agropecuario extensivo	384	0,004	1.750	0,017	aumenta	Está subcategoría es aplicada a mayor espacio territorial principalmente en zonas con limitada vocación productiva, tomando en cuenta la rehabilitación de la vegetación distribuidas en la superficie territorial del departamento de Potosí
E1	Protección con uso ganadero extensivo limitado	37.337	0,370	0	0,000	cambio de uso	Estas subcategorías se convierten en parte de la subcategoría E7 considerando las grandes extensiones territoriales del sud oeste y norte potosino
E11	Protección con uso ganadero extensivo limitado y uso agropecuario extensivo	8.209	0,081	0	0,000	cambio de uso	
E2	Protección con uso agropecuario extensivo limitado	12.189	0,121	0	0,000	cambio de uso	

Categoría	Clase	Superficie Km ²	%	Superficie km ²	%	Patrón de cambio	Justificación
		2000		2016			
E.23	Protección con uso agropecuario extensivo limitado y uso agropecuario extensivo	1.458	0,014	0	0,000	cambio de uso	Estas subcategorías se convierten en parte de la subcategoría E7 considerando las grandes extensiones territoriales del sud oeste y norte potosino
E1	Protección con uso ganadero extensivo limitado	37.337	0,370	0	0,000	cambio de uso	
E.7	Protección	11.284	0,112	12.060	0,120	aumenta	Está subcategoría es aplicada a mayor espacio territorial principalmente en zonas con limitada vocación productiva distribuidas en la superficie territorial del departamento de Potosí, tomando en cuenta aspectos de protección del suelo
E.7.2	Protección con Uso agropecuario intensivo	0	0,000	367	0,004	cambio de uso	Está subcategoría es aplicada a mayor espacio territorial principalmente en la zona sud oeste potosino que incluye la actividad agrícola con cultivo de quinua principalmente.
E.7.3	Protección con Uso agropecuario extensivo	0	0,000	14.626	0,145	cambio de uso	Está subcategoría es aplicada a mayor espacio territorial principalmente en las zonas con vocación agrícola productiva que se encuentran distribuidas en el territorio del departamento de Potosí no obstante requiere medidas de protección

En la Tabla 4 se recoge el historial sobre el patrón de cambio que muestra la incidencia de la agricultura en la transformación del territorio potosino tomando en cuenta el gran potencial de regiones eminentemente agrícolas en la zona sur y centro del departamento con una notable vocación agropecuaria de camélidos en el sud oeste potosino. Dando como resultado un modelo territorial que se caracteriza por la dispersión

de las actividades y población, lo que implica un elevado consumo de recursos naturales (agua, suelo y energía), incremento de los riesgos naturales y de contaminación. La disminución de fuentes de agua originado por el cambio climático y la contaminación viene provocando la degradación de suelos naturales y despoblamiento de zonas rurales convirtiendo a mayor extensión territorial en áreas de protección o uso agropecuario limitado.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, G. (2005). La continuidad de los parques y el espacio público en Bogotá y su entorno. Hacia un sistema regional y distrital de áreas protegidas. En *Región, ciudad y áreas protegidas*, Ed. Felipe Cárdenas. Bogotá.
- Bielza, V. (2012). Organización y ordenamiento del territorio. Desarrollo y sostenibilidad. Experiencia europea para el Perú. *Revista Geográfica*. Perú.
- Chiarella, J. A. R. (2014). Planificación y gestión territorial. Análisis de las dinámicas territoriales en la trifrontera amazónica entre Perú, Brasil y Bolivia. En XIII Seminario Internacional RII, VI Taller de Editores RIER, Salvador. Brasil.
- EEA (European Environment Agency) (2009). Señales de la AEMA 2009 - Cuestiones medioambientales de capital importancia para Europa. Luxemburgo.
- FAM (Federación de Asociaciones Municipales de Bolivia) (2010). Propuesta de guía metodológica para la formulación de planes de Ordenamiento Territorial. Bolivia.
- Goerlich, F. (2013) Zonas de morfología urbana. Cobertura del suelo y demografía, Ed. Fundación BBVA. España.
- López, R. (2001). Planificación Territorial. *Revista de Administración Pública*, septiembre-diciembre 2001, N° 114, pp. 127-177, Ed. Instituto de Estudios. España.
- Massiris, Á. (2006). Políticas Latinoamericanas de ordenamiento Territorial: Realidad y Desafíos, pp. 15-63, Ed. Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia. Colombia.
- MDS (Ministerio de Desarrollo Sostenible) (2016). Plan Departamental de Ordenamiento Territorial, Potosí 2015 - 2035. Bolivia.
- MDSP (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación) (1999). Guía metodológica para la formulación de los planes de ordenamiento territorial departamental y municipal. Bolivia.
- MDSP (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación) (2000). Plan de Uso del Suelo para el departamento de Potosí. Bolivia.
- MPD (Ministerio de Planificación del Desarrollo) (2016). Ley SPIE - Lineamientos metodológicos para la formulación de planes territoriales de desarrollo integral para vivir bien. Bolivia.
- Subieta, S. (2005). Priorización de áreas potenciales del municipio de Puna sobre la base del ordenamiento territorial. Dirección y Gestión de Empresas, Tesis de grado M. Sc. Universidad Autónoma Tomás Frías. Bolivia.

INFORMACIÓN TÉCNICA

PRESA CARRIZAL

Presentadores:

Alfonzo Vacaflares Ayo ¹

Ivar Fernando Colodro M. ²

¹Ingeniero Civil – Profesional Independiente – Consultora COTA s.r.l.

²Ingeniero Civil – Director de Obras Hidráulicas y Sanitaria –

Carrera de Ingeniería Civil – U.A.J.M.S.

Tarija - Bolivia

El proyecto Hidroeléctrico CARRIZAL se ubica en el límite de los departamentos de Chuquisaca y Tarija, abarcando los municipios de Villa Abecia y Culpina de la provincia Sud Cinti en Chuquisaca y los municipios de El Puente y San Lorenzo de la provincia Méndez del departamento de Tarija.

El proyecto se desarrolla a lo largo de río Camblaya – Pilaya que pertenece a la cuenca del río Pilcomayo, es planteado para el aprovechamiento de las aguas de éste río, con el propósito de generación hidroeléctrica. Comprende la construcción de una presa de 160 m de altura, para la regulación de las aguas y la construcción una central hidroeléctrica con 366 MW de potencia instalada. Con los caudales regulados este proyecto posibilitará el riego de 60.000 ha en la zona de Villa montes - Ibibobo

La presa situada en el sitio denominado “el angosto” al inicio del “Cañón” del Pilaya,

(21° 01` Latitud sur y 64° 59` Longitud oeste), será de Hormigón Compactado - gravedad, de planta recta, de 160 m de altura, con una longitud de coronamiento de 379,5 m, un ancho de la estructura en la base de 135 m. El aliviadero será sin control, sobre el cuerpo de la presa, conformado por 5 vanos de 16 m de luz, y desagüe de fondo con 7 conductos rectangulares de 3x3.5 m.

La presa por su ubicación, aguas arriba del “Cañón”, no tiene ninguna incidencia sobre éste, y menos se tendrá intervención alguna, o sea que, no se ejecutaran obras en ningún sitio del “Cañón”.

Otro aspecto que hay que destacar, es aquel que con la presa, no se afectará a la fauna ictícola del sistema del río Pilcomayo, porque a éste sector del río Pilaya, ya no llegan las migraciones de los peces, por la existencia de rápidas y saltos de agua en el tramo del “Cañón” del Pilaya, ubicado aguas abajo del sitio de presa.

El embalse tendrá un volumen de 1.334.000.000 m³ (1.334 hm³), con un espejo de agua de 2200 ha, abarca todo el valle del río Camblaya, hasta su nacimiento, en una longitud de 40 km, cubrirá áreas rocosas, de una zona árida donde las precipitaciones anuales no alcanzan los 200 mm (esta es la zona más seca del sur del país). En la cola del embalse, en el sector de la fluctuación de

nivel anual, aguas arriba de la confluencia de los ríos San Juan del Oro y Tumusla, existen pequeñas áreas de cultivo, 26 ha, en las márgenes del San Juan del Oro y 13 ha en el Tumusla, serán las únicas tierras parcialmente afectadas.

El embalse por sus características y su gran tamaño, también contribuirá a la mitigación de la contaminación del río Pilcomayo; retendrá sedimentos y lo que es muy importante, la contaminación minera que existe en la época de estiaje, será eliminada por dilución.

En el valle del río Camblaya, donde no se tienen asentamientos humanos, no se tiene desarrollo agrícola, no existen tierras aprovechables y donde las afectaciones son prácticamente inexistentes, ofrece condiciones muy favorables, para la formación del embalse.

La central hidroeléctrica se ubica en la margen izquierda del río, a la salida del túnel hidráulico, localizada en el flanco oriental de la serranía, aguas abajo del “Cañón” del Pilaya. La central tendrá 3 turbinas Pelton con una capacidad instalada de 366 MW de potencia.

El túnel se inicia en la toma situada en el interior del embalse, aguas arriba de la presa, en la margen izquierda del embalse, será de 23 km de longitud, 5,5 m de diámetro y 1% de pendiente, obra que posibilita el aprovechamiento de un salto de 800 m. El túnel por su localización y longitud de 23 km, atraviesa la serranía sin comprometer en absoluto nada del sitio del “Cañón”

El proyecto contempla la ejecución de otras obras como los caminos: 1) Acceso a la presa 17 km (más la adecuación del camino a Culpina 22 km). 2) Acceso a la central 33 km (más la adecuación del camino a San Lorenzo 46 km). Y la construcción de la línea de transmisión eléctrica de 230 KV que parte de la subestación ubicada junto a la casa de máquinas hasta la subestación en las Carreras, con una longitud de 96 km, la que se localiza al sur del río, a una distancia de 12 a 15 km.

El proyecto actualmente, tiene concluido su DISEÑO FINAL, estudio que fue elaborado por la Asociación AH Carrizal, integrada por: La empresa española TYPESA (70%) La empresa brasilera ENGECRPS ENGENHARIA (25%) y la empresa boliviana AGUILAR Y ASOCIADOS

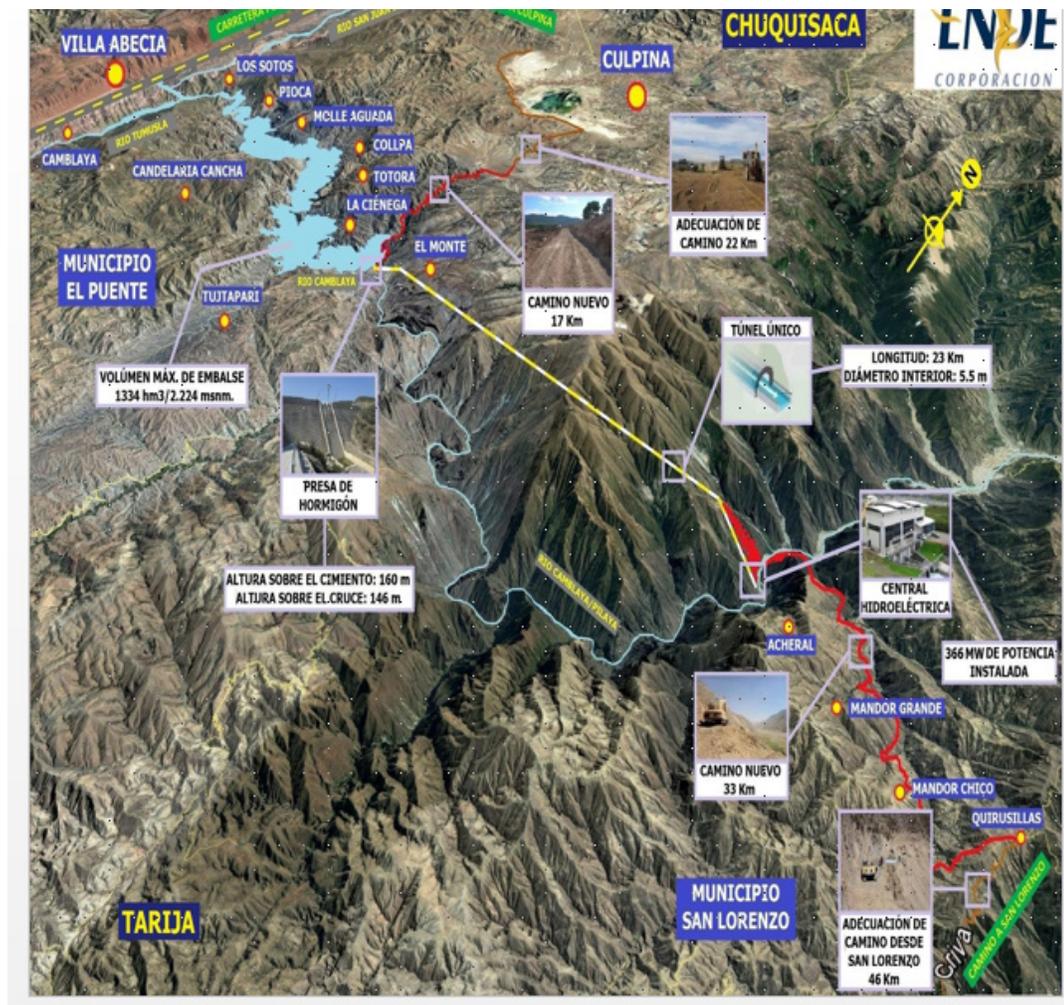
(5%) Los estudios se desarrollaron desde junio de 2016 a octubre de 2020 y contemplan los impactos ambientales y su mitigación.

El Proyecto Hidroeléctrico Carrizal, ha sido declarado como prioridad nacional y departamental mediante la Ley N° 462 de 2013. Y con la Ley N° 786 de 2016 se autorizó la construcción del proyecto a partir de la gestión 2020.

Su justificación técnico-económica tiene origen en múltiples iniciativas y estudios realizados.

El proyecto tiene la finalidad de generar energía eléctrica (1.842,8 GWh/año, con una potencia instalada de 366 MW), a partir del aprovechamiento del potencial hidroeléctrico derivado de la regulación de las aguas del río Camblaya- Pilaya, con un embalse de 1.334 hm³. Con la regulación de las aguas se posibilitará el riego de 60.000 ha, de tierras del Chaco Tarijeño.

Es el proyecto más grande e importante del sur del país, es el proyecto que tendrá un impacto muy significativo en el desarrollo departamental y regional, que no debe ser postergado.





Sitio ubicación de la presa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO



DICYT
Departamento de Investigación,
Ciencias y Tecnología - UAJMS

Revista **CIENCIA SUR**

Tarija - Bolivia