



מיקרוביאליטים: שכנים עתיקים בכדור הארץ

Alfredo Yanez-Montalvo^{1,2}, Bernardo Águila Salgado¹, Elizabeth S. Gómez-Acata¹,
Yislem Beltrán³, Patricia M. Valdespino-Castillo⁴, Carla M. Centeno¹, Luisa I. Falcón^{1*}

¹המכון לאקולוגיה, האוניברסיטה הלאומית האוטונומית של מקסיקו, מרידה, מקסיקו

²קולג' פרונטרה סור, צ'טומל, מקסיקו

³המכון למדעי הים ולימנולוגיה, האוניברסיטה הלאומית האוטונומית של מקסיקו, פוארט מורלוס, מקסיקו

⁴המעבדה הלאומית של לורנס ברקלי, ברקלי, קליפורניה, ארצות הברית

סוקרות צעירות

DANA
גיל: 14



MARÍA JOSE
גיל: 14



MARIANA
גיל: 15



מיקרוביאליט (Microbialite)

מבנה דמוי-סלע שמורכב ממיליוני מיקרובים שמשקיעים קרבונט.

מיקרוביאליטים הם מבנים תת-ימיים דמויי סלע שנראים כמו שוניות אלמוגים, אולם הם בנויים אך ורק ממיליוני מיקרובים. המבנים האלה עתיקים מאוד ואפשר למצוא אותם בסביבות שונות בכל יבשת בכדור הארץ. במקסיקו יש הרבה שוניות מיקרובים, בעמקים מדבריים, באגמי מכתש ובלגונות חוף. המדע עוזר לנו להבין את המיקרובים שבונים את המיקרוביאליטים, לדעת אם אותם סוגי מיקרובים בונים מיקרוביאליטים באזורים שונים בעולם, ולהבין כיצד מיקרובים מתארגנים למיקרוביאליטים. הרבה דברים מזיקים למיקרוביאליטים במקסיקו, כולל תוכניות פיתוח לא מוצלחות, זיהום כתוצאה ממחסור בטיפול בביוב, עודף שימוש במים, ודשנים שמשמשים לחקלאות. מדיניות שמפקחות על התפתחות נדרשות לפעול במהרה בסיוע לשמירה על שוניות המיקרובים המגוונות והעתיקות האלה.

מהם מיקרוביאליטים?

האם אתם יודעים מהם מיקרוביאליטים? לא הרבה אנשים יודעים. הסיבה לכך היא שמיקרוביאליטים נראים כמו סלעים תת-ימיים חלקלקים, אולם הם למעשה שוניות שעשויות

מיקרוב**(Microbe)**

אורגניזם שאפשר לראות מתחת למיקרוסקופ.

סטרומוטוליט**(Stromatolite)**

מיקרוביאליטים מעובדים, שהם המאובנים הכי עתיקים שנמצאו נכון להיום.

ציאנובקטריה**(Cyanobacteria)**

מערכת חיידקים שיכולים לבצע פוטוסינתזה.

חומרים אקסו-פולימריים**(EPS - Exopolymeric substances)**

מולקולות דמויות ריר שמשוחררות על-ידי מיקרואורגניזמים לסביבה שלהן, מה שמסייע למיקרובים להישאר קרובים זה לזה ולתקשר זה עם זה.

תגובת שרשרת של**פולימראז****(PCR - Polymerase chain reaction)**

שיטת מעבדה לקבלת מיליוני עותקים של פיסות דנ"א, כך שאפשר לנתח אותן יותר בקלות.

ממיקרובים (אורגניזמים חד-תאיים פשוטים). מיקרוביאליטים הם מרתקים מאחר שהמבנים דמויי-הסלע האלה נוצרים מאינטראקציות של מיליוני מיקרובים שחיים בסביבות ימיות מסוימות. המיקרובים מעודדים את שקיעתם של מינרלים מהמים, כדי לעודד את מבנה המיקרוביאליטים [1]. מאחר שהמיקרוביאליטים הם כמו סלעים, הם נשארו על כדור הארץ מזמנים עתיקים ביותר. מיקרוביאליטים מאובנים, שידועים כ**סטרומוטוליטים** (מהמילים היווניות *strōma* שמשמעותה מיטה או שכבה, ו-*lithos* שמשמעותה סלע), הן הראיות העתיקות ביותר לחיים על כדור הארץ, שמתוארכות ללפני 3.7 מיליארדי שנים [2].

ציאנובקטריה הם סוג אחד של מיקרובים במיקרוביאליטים, והחיידקים האלה עושים כל מיני עבודות חשובות. ציאנובקטריה בונים מחסים שמגינים על חברות מיקרובים מדברים מסוכנים בסביבה, כולל הגנה עליהם מפני התייבשות ומפני נזק מקרינה אולטרה-סגולה של השמש. המחסים שנבנים על-ידי ציאנובקטריה כולאים ומחברים משקעים מינרלים, מה שמסייע לגדל מיקרוביאליטים [3, 4]. ציאנובקטריה מעורבים גם בייצור של חומרים חלקלקים שנקראים **חומרים אקסו-פולימריים**, שהם כמו ריר. חומרים אקסו-פולימריים מסייעים למיקרובים להישאר קרובים זה לזה ומאפשרים לתאים לתקשר אחד עם השני [4]. לציאנובקטריה גם יש פיגמנטים שמתקשרים עם פוטונים מהשמש, מה שמאפשר להם לבצע פוטוסינתזה, מה שמוביל לשילוב של פחמן מהאטמוספירה (בצורת CO₂) לתאים שלהם. ציאנובקטריה לוקחים מים ומייצרים חמצן במהלך הפוטוסינתזה. מאחר שהמיקרוביאליטים כל כך מבוגרים, הם ככל הנראה השתתפו בחמצון של כדור הארץ הצעיר. לאט ובעדינות, בועה אחרי בועה, המיקרובים מייצרים חמצן, ובתוך בערך 2.4 מיליארד שנים הכימיה של אטמוספירת כדור הארץ השתנתה מספיק כדי לתמוך באבולוציה של צורות חיים אחרות [5]. ציאנובקטריה הם אחד ממקורות המזון עבור סוגי מיקרובים אחרים, והם מסייעים להרבה סוגי מיקרובים לפעול יחד כיחידה אחת וליצור את חברת המיקרוביאליטים.

היכן מיקרוביאליטים חיים?

ישנם מיקרוביאליטים שחיים בסביבות ימיות שונות בכל רחבי הגלובוס כולל בקטבים, באזורי אקלים ממוזג ובאזורים טרופיים. במקסיקו ישנן חברות מיקרוביאליטים באזורים שונים כולל אזורי לגונות חוף, אגמי מכתש ובריכות מדבר (איור 1).

האם כל המיקרוביאליטים במקסיקו זהים?

במחקר שלנו, רצינו להבין אם מיקרוביאליטים מאזורים שונים במקסיקו הם דומים או שונים, מבחינת המיקרובים שמרכיבים אותם. כדי לחקור זאת בחנו כמה אתרים באמצעות קטמרינים, קיאקים וסירות. ברגע שזיהינו שוניות של מיקרוביאליטים, לקחנו דגימות קטנות (כ-2 גרם) של מיקרוביאליטים מהמילימטרים הראשונים של פני השטח שלהם באמצעות כלים ומכלים נקיים ונטולי מיקרובים. אחסנו את הדגימות האלה במקררים והקפאנו אותן כשהגענו חזרה למעבדה. לאחר מכן, זיקקנו דנ"א מדגימות המיקרוביאליטים האלה, באמצעות אנזימים שונים, סבונים ומולקולות אורגניות. כדי לחקור את הדנ"א הזה, ראשית העצמנו אותו באמצעות שיטה שנקראת **תגובת שרשרת של פולימראז (PCR)**, וניתחנו עד כמה רצפי הדנ"א המיקרובי האלה דומים או שונים זה מזה. על-ידי השוואת אזורים מסוימים של דנ"א מיקרובי, אלפי מיקרובים יכולים להיות מזוהים מדגימה בגודל של אפונה!

איור 1

אזורי שוניות מיקרוביאליטים במקסיקו שנבחנו במחקר שלנו: אגן קוארטו ציאנגס בצפון מקסיקו, אגם-מכתש אלצ'יצ'יקה במרכז מקסיקו, ולגונת באצ'אלר ביוקטן פנינסולה.



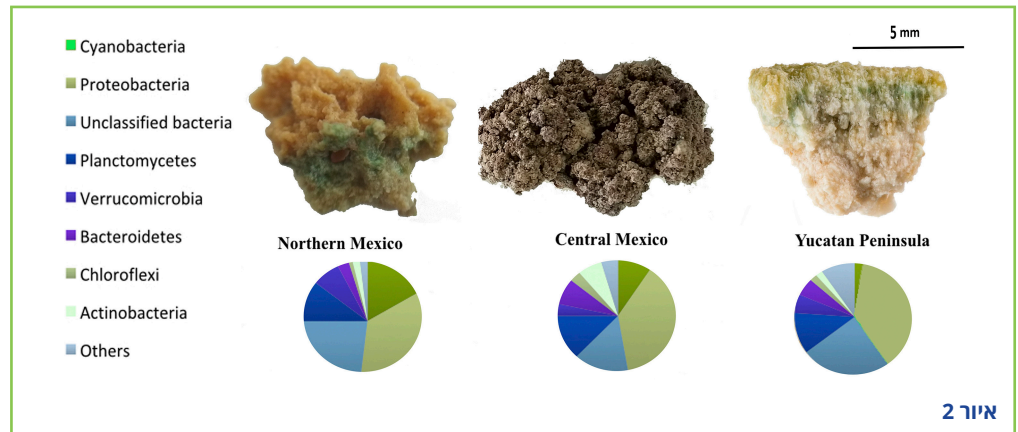
איור 1

מצאנו שלכל חברות המיקרוביאליטים שחקרנו היו אותן קבוצות מיקרובים, פשוט ביחסים מעט שונים (איור 2) [6]. המיקרובים העיקריים במיקרוביאליטים היו ציאנובקטריה (שכבר הזכרנו קודם), פרוטאובקטריה ובקטרואידיטים (שהם מגוונים מאוד ויכולים לעכל סוגי חומרים רבים כולל פחמן, חנקן וגופרית), כלורופלקסי (שיכולים לבצע סוג של פוטוסינתזה שלא מייצר חמצן, אלא במקום זאת מייצר חומר שנקרא סולפיד), וארכיאה (שיכולים לייצר ולאכול מתאן) (איור 3).

פרוטאובקטריה הם החיידקים הכי מגוונים במיקרוביאליטים, והם מהווים בין 30%-40% מהמגוון הכולל במבנים האלה, כשאחריהם קבוצה של חיידקים שאנו יודעים מעט מאוד עליה שנקראת חיידקים בלתי מסוגלים, שמרכיבים כ-20% מהחיידקים במיקרוביאליטים. חיידקים אחרים כולל בקטרואידיטים, פלקטומיציטים, ורוקומיקרוביה, כלורופלקסי וציאנובקטריה מרכיבים את שארית המגוון (איור 2). המיקרובים במיקרוביאליטים מתקשרים זה עם זה ועם הסביבה במשך מיליוני שנים, וסייעו לטרנספורמציה של כדור הארץ, מה שאפשר את החיים שלנו דרך ייצור של חמצן ודרך תהליכים חשובים אחרים. חברות מיקרובים כמו אלה שיוצרות מיקרוביאליטים מסייעות לכדור הארץ לתפקד כיחידה אחת.

איור 2

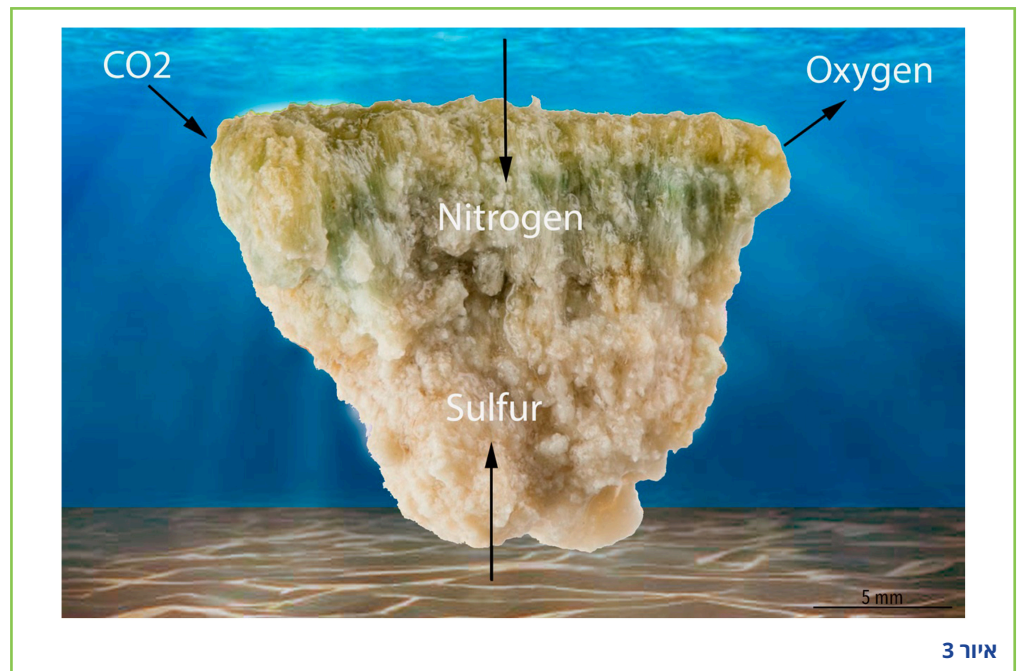
סוגים שונים של חיידקים מרכיבים את המיקרוביאליטים שמצאנו מאזורים שונים במקסיקו. סוגי החיידקים שרשומים משמאל, ודיאגרמות העוגה שמוצגות מתחת לתמונות של המיקרוביאליטים, מראים שהמיקרוביאליטים מאזורים שונים בנויים מיחסים שונים של אותם סוגי חיידקים.



איור 2

איור 3

הרבה מיקרובים בונים מיקרוביאליטים. הם מבצעים פוטוסינתזה וכולאים פחמן דו-חמצני, מייצרים חמצן ופעילים במחזורים של חנקן, גופרית ומתאן.



איור 3

האם מצבם של מיקרוביאליטים במקסיקו טוב?

מאחר שמיקרוביאליטים מספקים את צורכיהם העצמיים, הם זקוקים רק למים נקיים, לאור שמש ולגזים מהאטמוספירה כדי לגדול ולהתפתח. כל המיקרוביאליטים שחקרנו במקסיקו חיים במקומות עם מים נקיים וצלולים, ומצאנו צבירי מיקרוביאליטים מסיביים שמתוארכים כבני כ-10,000 שנים [7]. חלק מהסביבות הימיות היפהפיות שבהן מיקרוביאליטים שגשו במשך אלפי שנים הן בעלות מים חמים, צלולים וטרופיים. זה המקרה של לגונת חוף שנקראת בקלר בדרום מקסיקו, אשר משכה המוני תיירים. אולם בעיה מתעוררת כאשר אין תשתית טובה לטיפול בביוב כתוצאה מגידול אוכלוסין, מה שמוביל לזיהום של הלגונה. מיקרוביאליטים בלגונת בקלר ובאזורים אחרים במקסיקו מאוימים על-ידי פעילויות של בני אדם. בצפון מקסיקו, המיקרוביאליטים המשגשגים בעמק קואטרו צינגאס, שמכיל בריכות רבות באמצע המדבר, נמצאים בסיכון מאחר שיותר מדי מים נלקחים מהבריכות לטובת חקלאות. במרכז מקסיקו, מיקרוביאליטים שחיים באגמי-מכתש גם נמצאים בסיכון, כתוצאה הן מזיהום הן משימוש מוגזם במים.

בני אדם מהווים את הבעיה העיקרית למגוון הביולוגי בעולם, אולם אנו גם הפתרון. מיקרוביאליטים הם חלק מההיסטוריה של כדור הארץ, וזה נפלא שאנו יכולים להתבונן בחברות העתיקות האלה בימינו! מוטלת עלינו האחריות להיות משכילים לגבי הסביבה שלנו ולקבל החלטות אינטליגנטיות. בואו נשתמש בטיהור מים יעיל ובטכנולוגיה כדי להציל מיקרוביאליטים וחיים ימיים אחרים! לפני שאתם יוצאים לחופשה, קראו על המקומות שאתם רוצים לבקר בהם כדי ללמוד על הצמחים, החיות והחיידקים שחיים באותו האזור, כך שתוכלו ליהנות מחברתם בלי לפגוע בהם או בסביבתם.

תרומת הכותבים

המחברים תרמו במידה שווה לכתיבת המאמר הזה.

מאמר המקור

Valdespino-Castillo, P. M., Hu, P., Merino-Ibarra, M., López-Gómez, L. M., Cerqueda-García, D., González-De Zayas, R., et al. 2018. Exploring biogeochemistry and microbial diversity of extant microbialites in Mexico and Cuba. *Front. Microbiol.* 9:510. doi: 10.3389/fmicb.2018.00510

מקורות

1. Reid, R. P., Visscher, P. T., Decho, A. W., Stolz, J. F., Bebout, B. M., Dupraz, C., et al. 2000. The role of microbes in accretion, lamination and early lithification of modern marine stromatolites. *Nature*. 406:989–92. doi: 10.1038/35023158
2. Nutman, A. P., Bennett, V. C., Friend, C. R., Van Kranendonk, M. J., and Chivas, A. R. 2016. Rapid emergence of life shown by discovery of 3,700-million-year-old microbial structures. *Nature*. 537:535–8. doi: 10.1038/nature19355
3. Watnick, P., and Kolter, R. 2000. Biofilm, city of microbes. *J. Bacteriol.* 182:2675–9. doi: 10.1128/JB.182.10.2675-2679.2000
4. Flemming, H. C., and Wingender, J. 2010. The biofilm matrix. *Nat. Rev. Microbiol.* 8:623–33. doi: 10.1038/nrmicro2415
5. Johnston, D. T., Wolfe-Simon, F., Pearson, A., and Knoll, A. H. 2009. Anoxygenic photosynthesis modulated proterozoic oxygen and sustained Earth's middle age. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106:16925–9. doi: 10.1073/pnas.0909248106
6. Valdespino-Castillo, P. M., Hu, P., Merino-Ibarra, M., López-Gómez, L. M., Cerqueda-García, D., González-De Zayas, R., et al. 2018. Exploring biogeochemistry and microbial diversity of extant microbialites in Mexico and Cuba. *Front. Microbiol.* 9:510. doi: 10.3389/fmicb.2018.00510
7. Gischler, E., Gibson, M. E., and Oschmann, W. 2008. Giant holocene freshwater microbialites, laguna bacalar, quintana roo, Mexico. *Sedimentology*. 55:1293–309. doi: 10.1111/j.1365-3091.2007.00946.x

פורסם אונליין: 09 בנובמבר 2021

Francisco Barona-Gomez, National Laboratory of Genomics for Biodiversity, **נערך על ידי:** Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute, Mexico

Yanez-Montalvo A, Águila Salgado B, Gómez-Acata ES, Beltrán Y, **ציטוט:** Valdospino-Castillo PM, Centeno CM and Falcón LI (2021) מיקרוביאליטים: שכנים עתיקים בכדור הארץ. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2019.00112-he

Yanez-Montalvo A, Águila Salgado B, Gómez-Acata ES, Beltrán Y, **תורגם והותאם:** Valdospino-Castillo PM, Centeno CM and Falcón LI (2019) Microbialites: What on Earth? Front. Young Minds 7:112. doi: 10.3389/frym.2019.00112

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

Yanez-Montalvo, Águila Salgado, Gómez-Acata, Beltrán, 2021 © 2019 © **COPYRIGHT** Valdospino-Castillo, Centeno and Falcón. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרות צעירות

DANA, גיל: 14

קוראים לי Dana. אני בת 14 ואני גרה בגואנג'ואטו, מקסיקו. אני רוקדת בלט וג'ז מאז שהייתי בת שנתיים. אני אוהבת מדע, במיוחד אסטרונומיה. אני רוצה ללמוד אסטרונומיה בעתיד. אני גם רוצה להיות מהנדסת או עורכת דין.

MARÍA JOSE, גיל: 14

קוראים לי María Jose, החברים שלי קוראים לי Majo. אני בת 14, גרה בגואנג'ואטו, מקסיקו. אני אוהבת בלט, התאמנתי בבלט מאז שהייתי בת שלוש. אני אוהבת מדע ואני רוצה להיות רופאה.

MARIANA, גיל: 15

קוראים לי Mariana, אני בת 15 ואני גרה בגואנג'ואטו, מקסיקו. הספורט האהוב עליי ביותר הוא סקווש, אני משחקת מאז שהייתי בת 6. המקצועות האהובים עליי הם היסטוריה וכימיה. בעתיד אני רוצה להיות מדענית.

הכותבים

ALFREDO YANEZ-MONTALVO

אני דוקטורנט לאקולוגיה ופיתוח בר קיימא. יש לי תשוקה למחקר של אקולוגיה מיקרובית ולהבנת האופן שבו מגוון ביולוגי מושפע על-ידי פעילויות אנושיות. אני אוהב שירה, ספורט ואת לגונת בקלר. כל יום אנו יכולים ללמוד עוד מאנשים ומהטבע.





BERNARDO ÁGUILA SALGADO

אני דוקטורנט, אדם סקרן וחנון. אני מאוהב באומנות, בטכנולוגיה ובמדע פופולרי, במיוחד בנושאים של מדעי הטבע כמו ביולוגיה, גיאולוגיה, אסטרונומיה ומדעי הסביבה. אני מתעניין מאוד במיקרואורגניזמים שיש להם תפקיד חשוב בתפקוד של מערכות אקולוגיות. אני גם מודע לבעיות הסביבתיות שאנו עלולים להתמודד איתן בעתיד, ואני רוצה לתרום לפתרון באיזושהי דרך.



ELIZABETH S. GÓMEZ-ACATA

אני מיקרוביולוגית שעובדת כחוקרת פוסט-דוקטורנטית באוניברסיטה הלאומית האוטונומית של מקסיקו. אני מרותקת מחיים מיקרוביים. אני אוהבת לחקור מיקרואורגניזמים בכל סביבה מאחר שהם חשובים מאוד לחיים על כדור הארץ. אני גם אוהבת לחקור יישומים ביוטכנולוגיים של מיקרואורגניזמים לטיפול בסביבה. אני נהנית להסתכל עליהם דרך המיקרוסקופ ולחקור אותם בשיטות מולקולריות. בזמני הפנוי אני נהנית לטייל, לצלם ולרקום. אני אוהבת את המשפחה שלי ונהנית מהחיים.



YISLEM BELTRÁN

אני פוסט-דוקטורנטית באוניברסיטה הלאומית האוטונומית של מקסיקו. אני מתעניינת במגוון מיקרובים ובהבנת התבניות שמאפיינות את הנוכחות של חברות חיידקים בסביבות שונות, כמו גם בתגובה שלהן לשינויים בסביבה. מה שאני אוהבת במחקר הזה זו העובדה שיכולתי לטייל ולהכיר מקומות יפהפיים, אולם גם שאני יכולה לשלב עבודת שטח ועבודה מולקולרית וללמוד על מדעי המחשב.



PATRICIA M. VALDESPINO-CASTILLO

אני דוקטורנטית לביולוגיה ימית ולימנולוגיה. אני מרותקת על-ידי מיקרובים בסביבה, הם המכונות הזעירות הכי עתיקות וחזקות של החיים. מדע, מוזיקה ופעילויות בחוץ חשובים מאוד עבורי; לכן, אני רוצה לנסות כל שילוב אפשרי של שלושתם. אני אוהבת ללמוד דברים חדשים ממוחות צעירים סקרנים.



CARLA M. CENTENO

מאז שהייתי ילדה קטנה רציתי להיות ביולוגית, מאחר שהתעניינתי בהבנת תופעות הטבע. כשלמדתי על מיקרואורגניזמים הייתי מרותקת מהצורה שלהם, מהפשטות המטענה שלהם, מהזמן שהם מבלים על כדור הארץ (מיליוני שנים) ומהמגוון שלהם. אני אוהבת עבודת מעבדה ונהנית מאוד ללמד. יש לי שני ילדים קטנים שאני מלמדת אותם לכבד ולאהוב את כל צורות החיים.



LUISA I. FALCÓN

אני אקולוגית של מיקרובים באוניברסיטה הלאומית האוטונומית של מקסיקו, שמרותקת מהמגוון של חיידקים וארכיאה בסביבה. אני אוהבת את האופן שבו מיקרובים מתקשרים זה עם זה כדי להשלים את יכולות חילוף החומרים שלהם, מה שמאפשר לחברות ולמערכות אקולוגיות להתקיים. *falcon@ecologia.unam.mx

Hebrew version
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ע"ר)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

